

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Caracterización de variables fisicoquímicas en lodos y emisiones  
gaseosas de un colector de desechos de camal en la comunidad de Pacto**

**Disertación previa a la obtención del título de  
Licenciada en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica**

**ELENA VIRGINIA LÓPEZ NATA**

**Quito, 2017**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica, de la Srta. Elena Virginia López Nata, ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Mtr. en Ing. David Chuquer Solá

Director de la Disertación

Quito, 22 de noviembre de 2017

## **DEDICATORIA**

A Dios, que con su infinito amor me ha dado fuerzas y salud para lograr mis objetivos.

A mis padres que han sabido motivarme y mostrarme el camino hacia la superación.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Diana Astorga por haberme permitido participar en este importante proyecto de Investigación.

Al Mtr. David Chuquer por su constante apoyo y paciencia

## TABLA DE CONTENIDOS

Certificación.....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimientos.....	v
Tabla de contenidos .....	vi
Lista de figuras .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Lista de tablas .....	ix
Lista de anexos .....	xii
Resumen .....	1
Abstract .....	2
Introducción.....	3
1. Marco teórico.....	7
1.1. Desechos de camal .....	7
1.2. Digestión anaerobia .....	8
1.3. Ciclos metabólicos dentro de los procesos anaerobios .....	9
1.3.1. Hidrólisis .....	10
1.3.2. Acidogénesis .....	10
1.3.3. Acetogénesis .....	10
1.3.4. Metanogénesis .....	11
1.4. Otros métodos de tratamiento que se aplican a los desechos orgánicos .....	12

1.5. Caracterización de emisiones gaseosas en un colector de desechos de camal.....	13
1.6. Parámetros que intervienen en la producción del biogas .....	13
1.7. Diferentes aplicaciones y tecnología del biogas .....	14
1.8. Impacto ambiental de los desechos de camal .....	15
1.9. Caracterización de variables fisicoquímicas en un colector de desechos de camal .....	16
2. Materiales y métodos.....	21
2.1. Muestreo de gases.....	21
2.1.1. Características del analizador de gases de combustión .....	21
2.1.2. Toma de muestras para el análisis de hidrocarburos.....	22
2.2. Muestreo de los desechos de camal.....	24
2.3. Análisis fisicoquímico de las muestras de lodo de desechos de camal .....	27
2.4. Análisis estadístico.....	28
2.4.1. Programa estadístico “ <i>statgraphics</i> ”.....	28
3. Resultados.....	30
3.1. Análisis y comparación de los parámetros fisicoquímicos medidos en los diferentes estratos .....	30
3.2. Análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos en diferentes estratos .....	43
3.3. Análisis de gases .....	47
4. Conclusiones y recomendaciones .....	49

4.1.	Conclusiones .....	49
4.2.	Recomendaciones .....	51
5.	Referencias bibliográficas.....	52
6.	Anexos.....	63

## LISTA DE FIGURAS

Figure 1.- Procesos de la digestión anaerobia .....	12
Figure 2.- Muestreo de ácido sulfhídrico en el colector de desechos de camal de Pacto con el analizador de gases “TESTO 350” .....	21
Figure 3.- Analizador de gases de “TESTO 350” .....	22
Figure 4.- Recolección de muestras de gas en fundas Tedlar mediante una bomba de vacío.....	23
Figure 5.- Análisis de metano, propano y butano en muestras de gas del colector de desechos de camal de Pacto .....	23
Figure 6.- Esquema del equipo muestreador de lodos residuales del colector de desechos de camal de Pacto .....	24
Figure 7.- Primera toma de muestra del colector de desechos de camal.....	25
Figure 8.- Diseño del colector de desechos de camal.....	26
Figure 9.- Alcantarilla de evacuación de los desechos que se originan en camal	26
Figure 10.- Concentración de sólidos totales (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos .....	30
Figure 11.- Concentración de sólidos volátiles (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos .....	32
Figure 12.-Concentración de sólidos suspendidos (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos.....	33
Figure 13.- Concentración de sólidos suspendidos (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos.....	34
Figure 14.- Conductividad (uS/cm) por altura desde la base del colector de desechos.....	34



Figure 15.- Comportamiento de los sólidos disueltos y conductividad por altura desde la base del colector de desechos .....	35
Figure 16.-Concentración de DQO (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos.....	36
Figure 17.- Comportamiento de los sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno por nivel de profundidad. ....	37
Figure 18.- Comportamiento del pH, nitrógeno amoniacal y sulfatos por nivel de profundidad. ....	38
Figure 19.- Temperatura (°C) por altura desde la base del colector de desechos de camal.....	41
Figure 20.-Contenido de agua (%) por altura desde la base del colector de desechos de camal.....	43

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Prueba de Rangos Múltiples en los parámetros, sólidos totales, sólidos volátiles y sólidos suspendidos. ....	45
Tabla 2. Grupos homogéneos formados en cada parámetro e identificados por colores.....	46

## LISTA DE ANEXOS

### **Anexo 1. Resultados del análisis estadístico**

Tabla A.- Prueba de rangos múltiples de los parámetros sólidos disueltos y conductividad .....	63
Tabla B.- Prueba de Rangos Múltiples por nivel de profundidad en los parámetros, DQO, Nitrógeno Amoniacal y Sulfatos. ....	64
Tabla C.- Prueba de rangos múltiples de los parámetros pH, Temperatura y contenido de agua.....	65
Tabla D.- Grupos homogéneos formados en sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, conductividad, DQO, nitrógeno amoniacal, sulfatos, pH, temperatura y contenido de agua, por nivel de profundidad.....	66

### **Anexo 2. Resultados del análisis de gases sulfuro de hidrógeno, metano, propano y butano.**

Figura A.- Determinación de sulfuro de hidrógeno medido en el colector de desechos de camal de Pacto con un analizador de gases “TESTO 350” .....	67
Figura B.- Determinación de gas metano, propano y butano en muestras gaseosas del colector de desechos de camal de Pacto mediante un analizador de gases “TESTO 350” .....	68
Figura C.- Determinación de gas metano, propano y butano en muestras gaseosas del colector de desechos de camal de Pacto mediante un analizador de gases “TESTO 350” .....	69

**Anexo 3. Evidencias del análisis de muestras en el laboratorio**

Figure A1.- Análisis de sólidos totales.....	72
Figure A2.- Análisis de sólidos suspendidos.....	72
Figure A3.- Análisis de sólidos disueltos.....	73
Figure A4.- Análisis de la demanda química de oxígeno.....	73
Figure A5.- Análisis de nitrógeno amoniacal.....	73
Figure A6.- Análisis de sulfatos.....	74

## RESUMEN

La materia orgánica que poseen los desechos de camal constituye la materia prima adecuada para la producción de biogás y biofertilizantes. El objetivo de este trabajo fue caracterizar variables fisicoquímicas en un colector de desechos de camal de la Parroquia Pacto, que permitan evaluar su composición e identificar los parámetros que mejor definen los estratos, con el propósito de generar procesos metanogénicos de alto rendimiento. Para ello se realizaron análisis de sólidos totales, volátiles, suspendidos, disueltos, conductividad, DQO, nitrógeno amoniacal, sulfatos, contenido de agua, pH y temperatura mediante el uso de métodos estandarizados. La correlación entre variables a diferentes profundidades del tanque colector de desechos resultó concluyente: los estratos más profundos constituyen la materia prima idónea para la actividad microbiana anaerobia, debido a las condiciones de temperatura, pH, DQO, concentraciones de sólidos y nitrógeno amoniacal. Posteriormente se realizó un análisis estadístico ANOVA de un factor, mediante el cual se pudo identificar diferencias significativas entre los grupos homogéneos formados en los estratos analizados. Adicionalmente, se realizó un análisis de las emisiones gaseosas en el colector; sin embargo, la concentración de hidrocarburos examinadas mediante celdas electroquímicas, no fue detectable, debido al diseño mismo del colector, que evidentemente no fue concebido para su aprovechamiento.

**Palabras Claves:** Biodigestión; Desechos de camal; Biogás.

## ABSTRACT

The organic matter possessed by sludge waste constitutes the appropriate raw material for the production of biogas and biofertilizers. The objective of this work was to characterize physicochemical variables in a slaughterhouse waste collector of the Parroquia Pacto, that allow to evaluate its composition and identify the parameters that better define the strata, with the purpose of generating high performance methanogenic processes. In effect, total solids, volatile solids, suspended solids, dissolved solids, conductivity, COD were carried out; Ammonia nitrogen, sulphates, water content, pH and temperature were carried out, through the use of standardized methods. The correlation between variables at various depths was conclusive: deeper layers are the ideal raw material for anaerobic microbial activity, due to temperature, pH, COD, solids and ammonia nitrogen conditions. Later, a (one-way ANOVA) statistical analysis was carried out, through which it was possible to identify significant differences between the homogeneous groups formed in the strata analyzed. Additionally, an analysis of the gaseous emissions in the collector was carried out, however, the concentration of hydrocarbons examined by electrochemical cells was not detectable, due to the design of the collector itself, which evidently was not conceived for its use.

**Keywords:** Biodigestion; Slaughterhouse waste; Biogas.

## INTRODUCCIÓN

La producción de carne bovina en Ecuador, genera alrededor de 200.000 toneladas de carne al año para abastecer las necesidades de consumo a nivel nacional. Debido a que la demanda de este producto aumenta, ha surgido la necesidad de crear nuevos centros de faenamiento o camales los mismos que producen toneladas de desechos que generalmente son descargados a los cuerpos hídricos o enterrados en pozos ciegos (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2012). En la actualidad, existen alrededor de 174 centros de faenamiento de ganado bovino registrados en el país, de los cuales, algunos han sido mejorados en cuanto a implementación de nuevos equipos y maquinaria (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2012).

Como se mencionó, los desechos que generan los camales siguen siendo un tema de poco interés para las autoridades ambientales pese al impacto que estos causan. La recuperación de este material no implica grandes inversiones económicas, si se aplican métodos de remediación mediante procesos de biodigestión. En consecuencia, un análisis fisicoquímico establece la base para dar inicio al tratamiento de este material.

Este trabajo de investigación tiene como objetivos caracterizar los gases generados por la comunidad microbiana anaerobia en un colector de desechos de camal mediante un analizador de gases por celdas electroquímicas, y realizar el análisis fisicoquímico en 27 muestras estratificadas de desechos de camal de la comunidad de Pacto, mediante la determinación de temperatura, pH, conductividad, contenido de agua, carga orgánica, sulfatos, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos y nitrógeno amoniacal. Con lo cual, se busca

determinar si existen o no diferencias de las variables fisicoquímicas estudiadas entre los estratos mediante el estudio estadístico y en base a esto dar a conocer la altura y condiciones adecuadas para el desarrollo de bacterias productoras de biogás.

El desarrollo de este estudio es de gran importancia ya que la caracterización fisicoquímica de los desechos permite realizar una valoración más acertada acerca de la composición de este material e identificar qué parámetros predominan por estrato y cuál de estos cumpliría con los requerimientos necesarios para que los procesos metanogénicos sean de alto rendimiento. Cabe recalcar que en el país se han realizado algunos estudios acerca del tratamiento de las aguas residuales que generan los camales, enfocándose más en aquellas que son descargadas directamente a un sistema de alcantarillado, por el contrario, este trabajo hace énfasis en el análisis de parámetros fisicoquímicos por estratos en un colector de desechos, dándole relevancia al estudio por ser uno de los primeros en su categoría en el país. El estudio se enmarca en el proyecto de investigación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la PUCE, código M13423, denominado *“Combinación de perfiles geoquímicos y metagenómicos para la optimización de procesos de biodigestión durante la producción sustentable de energía y sus derivados”* bajo la dirección de la Dra. Diana Astorga, en el cual la Escuela de Ciencias Químicas participa a través del M.Ing David Chuquer Solá.

La disertación se compone de cuatro capítulos. En el Capítulo I se da una breve definición de los desechos de camal y sus características, una explicación sobre los procesos de digestión anaerobia y los ciclos metabólicos, se mencionan otros métodos de tratamiento en desechos orgánicos, el impacto ambiental, parámetros fisicoquímicos estudiados, por otro lado, se explica brevemente las características de los gases emitidos por los desechos de camal, parámetros



fisicoquímicos que intervienen en el rendimiento de producción de biogás así como las diferentes aplicaciones y tecnología del biogás.

En el capítulo II se detalla la metodología llevada a cabo en este trabajo de investigación, se describe el protocolo aplicado para realizar el muestreo de los gases, los parámetros que se analizarán *in-situ*, los principios de las técnicas de análisis aplicadas, los procedimientos, materiales y equipos utilizados para el desarrollo experimental y el tratamiento de los resultados obtenidos en la investigación. En el Capítulo III se describen los resultados obtenidos y se realiza una discusión de los mismos. Finalmente, en el Capítulo IV se encuentran detalladas las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de este estudio.

## **OBJETIVO GENERAL:**

Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y análisis de los gases generados y los estratos de lodo para la optimización de la generación de biogás en la comunidad de Pacto.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Caracterizar los gases generados por la comunidad microbiana en un colector de desechos de camal mediante un analizador de gases con sensores electroquímicos para la cuantificación de su poder calórico.
- Elaborar perfiles geoquímicos del lodo existente en el colector de desechos de camal en un gradiente de profundidad, mediante el análisis fisicoquímico de las variables: temperatura, pH, conductividad, carga orgánica, sulfatos, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos y sólidos disueltos para el desarrollo óptimo de bacterias productoras de biogás.

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. DESECHOS DE CAMAL**

Los desechos de camal son residuos biodegradables que contienen el material que se produce durante el sacrificio de los animales, lo cual implica: muerte, despojo del cadáver, limpieza de estómago, intestinos y demás órganos internos. Este tipo de materia orgánica se compone principalmente de proteínas, carbohidratos y grasa que lo hacen atractivo como materia prima para los procesos de bioconversión mediante digestión anaerobia (Ware y Power, 2016). Ware et al. (2016) indica que el contenido de materia orgánica que poseen estos desechos lo convierten en una excelente materia prima para la producción de metano y dióxido de carbono, así como biofertilizante rico en nutrientes para acondicionar el suelo.

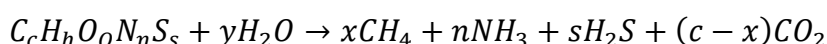
Si bien es cierto, los desechos de camal se ajustan a las características adecuadas para el desarrollo microbiano anaerobio, cabe mencionar que las bacterias productoras de metano se desarrollan en un ambiente que les proporcione estabilidad. Es decir, la biomasa debe cumplir con ciertos parámetros fisicoquímicos que permitan a estos microorganismos extenderse y metabolizar todo el contenido orgánico, de lo contrario el proceso de digestión anaerobia se vuelve lento y en efecto la producción de biogás es baja (Zhang, Hu y Lee, 2016). Harris y McCabe (2015) realizaron análisis de sólidos volátiles, tamaño de partícula de grasa y ácidos grasos volátiles en aguas residuales de un camal y encontraron que estos parámetros son indicadores del incremento de la producción de metano.

Por otro lado, Palatsi, Viñas, Guivernau, Fernandez y Flotats (2011) realizaron estudios en dos muestras de desechos de camal y determinaron que la carga proteico/lipídica influye en la biodegradabilidad del material orgánico y por ende se repotencia el desarrollo metanogénico. Aunque obtuvieron los resultados esperados, observaron que la carga lipídica retrasa de manera general todo el proceso cinético de degradación de la materia orgánica. Por otro lado, también

encontraron que la composición de estos desechos produce sustancias inhibidoras como ácidos grasos de cadena larga formados por enzimas que metabolizan los lípidos, y amoníaco producto de la descomposición proteica del lodo.

## 1.2. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia, es la bioconversión de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, donde microbios de diversos grupos taxonómicos desempeñan funciones especiales e interaccionan en la degradación de la biomasa y la metanogénesis para formar principalmente metano y dióxido de carbono (Del Hierro, 2016). La digestión anaerobia es un proceso de varios pasos que involucra una variedad de microorganismos que difieren ampliamente en términos fisiológicos, necesidades nutricionales, cinética de crecimiento y sensibilidad a las condiciones ambientales (Jha y Schmidt, 2016). La bioconversión de la biomasa se genera por una serie de reacciones bioquímicas en la cual diferentes grupos de microorganismos metabolizan el sustrato y forman compuestos como producto final, principalmente metano.



$$x = 1/8(4c + h - 20 - 3n - 2s)$$

$$y = 1/4(4 - +h - 2o + 3n + 3s)$$

Mao, Feng, Wang y Ren (2015) afirman que los parámetros clave en un proceso de digestión anaerobia incluye: temperatura, concentración del sustrato, fase de la digestión y métodos de alimentación del sustrato. Por ejemplo, en un desecho rico en lignocelulosa, la biodegradación es muy pobre ya que se forma material recalcitrante, de tal manera que sería necesario aplicar pretratamientos o utilizar inóculos ricos en nutrientes que faciliten por parte de las enzimas la biodegradación. En el caso de los desechos de alimentos sería importante realizar tratamientos de co-digestión que consiste en combinar con otro tipo de materia orgánica para equilibrar los nutrientes del desecho y contrarrestar los problemas de inhibición que afectan la producción de metano (Patinvoh, Osadolor, Chandolias, Horváth y Taherzadeh, 2017).

Así como las condiciones y composición del sustrato determinan el desarrollo de las comunidades bacterianas anaerobias, las características de la materia prima, los parámetros operacionales y ambientales también son relevantes para obtener buenos rendimientos de producción de biogás. El desarrollo de las comunidades microbianas depende mucho de la temperatura. Entre 45-60°C se lleva a cabo una digestión termofílica, a rangos de 20-45°C se denomina digestión mesofílica y temperaturas menores a 20°C se conoce como digestión psicofílica, de este modo si la temperatura cambia de mesofílica a termofílica se produce un descenso en la producción de biogás hasta que las poblaciones bacterianas que pueden soportar estas condiciones aumenten en número (Ward, Hobbs, Holliman y Jones, 2008). Por otro lado, Borja et al. (2017) mencionan que el proceso de degradación anaerobia involucra cuatro ciclos metabólicos: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

### **1.3. CICLOS METABÓLICOS DENTRO DE LOS PROCESOS ANAEROBIOS**

Los procesos metabólicos anaerobios se componen de cuatro etapas:

### **1.3.1. HIDRÓLISIS**

Consiste en la degradación de materiales orgánicos insolubles y compuestos de alto peso molecular como lípidos, polisacáridos y proteínas, en sustancias orgánicas solubles como ácidos grasos, azúcares y aminoácidos. Toda la materia polimérica compleja es hidrolizada a monómeros por enzimas hidrolíticas (lipasas, proteasas, celulasas) secretadas por bacterias, que descomponen la materia orgánica, sin embargo, residuos ricos en queratina y lignocelulosa limitan la velocidad de biodegradación, además en esta etapa se forman algunos subproductos tóxicos (Molino, Nanna, Ding, Bikson y Braccio, 2013).

### **1.3.2. ACIDOGÉNESIS**

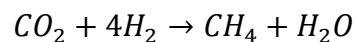
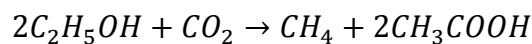
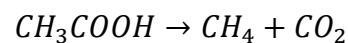
Las bacterias acidogénicas o también llamadas fermentativas, forman ácidos grasos volátiles a partir de los productos obtenidos en la etapa hidrolítica, además de compuestos como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y otros compuestos intermediarios (Borja et al., 2016).

### **1.3.3. ACETOGÉNESIS**

En esta etapa, las bacterias acetogénicas transforman los compuestos en ácidos orgánicos simples, dióxido de carbono e hidrógeno (Borja et al., 2016). Los principales ácidos producidos son ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), ácido propiónico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ), ácido butírico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ) y etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) (Molino et al., 2013).

#### 1.3.4. METANOGENESIS

Para formar metano, las bacterias metanogénicas pueden actuar en dos formas: Mediante la ruptura de las moléculas de ácido acético para generar metano y dióxido de carbono o mediante la reducción del dióxido de carbono con hidrógeno para formar acetatos y finalmente metano (Molino et al., 2013). Borja et al. (2016) explica que, en esta fase, dos grupos de microorganismos metanogénicos interactúan: Las bacterias metanogénicas acetoclásticas que convierten el acetato en metano y dióxido de carbono, y las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas que utilizan el hidrógeno como donante de electrones y el dióxido de carbono como aceptor para formar metano.



Los procesos de biodigestión tienen un impacto en la salud del hombre y animal. Wellinger (2013) menciona que estudios científicos han demostrado que el sustrato contiene gérmenes, virus y parásitos y que los procesos de bioconversión de la materia orgánica a biogás reducen notablemente los gérmenes patógenos.

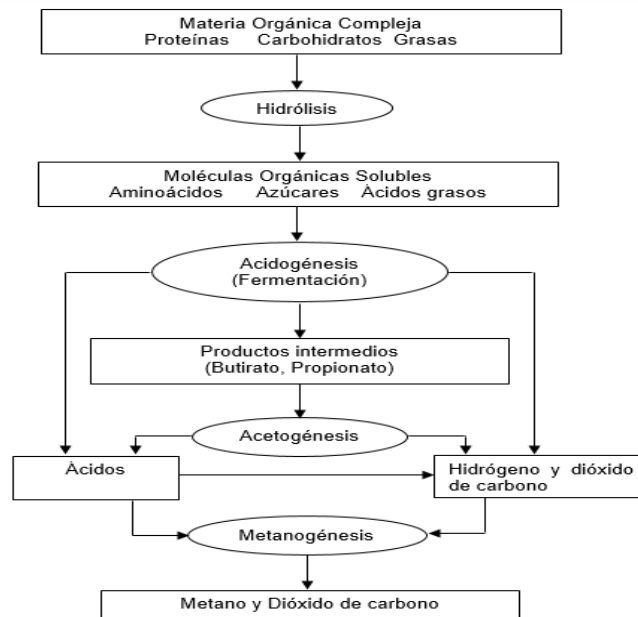


Figure 1.- Procesos de la digestión anaerobia (Yang, Li, Wang, Xie y Liu Y, 2017)

#### 1.4. OTROS MÉTODOS DE TRATAMIENTO QUE SE APLICAN A LOS DESECHOS ORGÁNICOS

Existen diferentes métodos para dar tratamiento a los desechos orgánicos: incineración, tratamiento aerobio, hidrólisis alcalina, tratamiento anaerobio (Sans y Rivas, 1999). El tratamiento por incineración consiste en la degradación térmica de la materia orgánica para destruir microorganismos potencialmente infecciosos en estos desechos. En efecto, la quema de estos desperdicios contamina el aire en forma directa (Wang, 2008). Por otro lado, el método aerobio o compostaje consiste en la oxidación de los compuestos biodegradables por intervención de bacterias y hongos, los mismos que transforman moléculas de proteínas y grasas en agua y dióxido de carbono, y como producto final se obtiene el compost o humus maduro, sin embargo debido a la composición de los desechos de mataderos, el tratamiento es bastante riesgoso ya que se manipula materia orgánica contaminada por una gran cantidad de microorganismos patógenos (Gutiérrez, 2014).



### **1.5. CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES GASEOSAS EN UN COLECTOR DE DESECHOS DE CAMAL**

Principalmente, la naturaleza de la materia orgánica es la que determina la composición química de gases producidos, que a su vez, son emitidos como producto de la digestión anaerobia formando biogás. El biogás bruto se compone de metano entre un 35 a 75 % y dióxido de carbono entre el 15 a 60%, además, contiene trazas de otros compuestos como vapor de agua (5-10%), sulfuro de hidrógeno (0.005-2%), siloxanos (0-0.02%), compuestos orgánicos volátiles (<0.6%), amoníaco (<0.1%), oxígeno (0-1%), nitrógeno (0-2%) y monóxido de carbono (<0.6%). La presencia de estas impurezas depende principalmente de la fuente de biogás. La concentración de estos componentes varía según el origen y composición de la biomasa, es decir que, el sustrato es el factor mayoritario que determina el rendimiento y velocidad de producción del biogás. Así mismo, existen métodos de limpieza como la absorción física, absorción química, separación por membrana, separación criogénica y métodos de conversión química. (Arellano, Dorado y Fortuny, 2017). El metano, componente mayoritario del biogás, es un gas incoloro e inodoro, tiene acción combustible en concentraciones a partir del 5-15 % en el aire y por lo tanto es potencialmente peligroso, posee un valor calórico de 10MJ/m<sup>3</sup>, y al igual que el gas natural se lo utiliza para la cocción de alimentos, para el alumbrado eléctrico o como combustible en motores a diésel (Fernández, Gutiérrez y Del Río).

### **1.6. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS**

La digestión anaerobia es un proceso de bioconversión que se lleva a cabo por diferentes especies de bacterias que participan en distintas etapas metabólicas, las mismas que transforman los componentes orgánicos de la biomasa (carbohidratos, proteínas, lípidos) a biogás, sin embargo, para que estos microorganismos metabolicen los compuestos orgánicos antes mencionados,

requieren de parámetros óptimos que permitan impulsar la actividad microbiana en el medio e incrementar la eficiencia de los procesos de digestión. Los principales parámetros que gobiernan la producción de biogás son el pH, temperatura, tamaño de partícula, velocidad de carga orgánica y tiempo de retención, por ende, un cambio brusco en cualquiera de los mismos puede provocar efectos adversos en el proceso de biodigestión y por lo tanto, en la producción de biogás (Chandel, Sukumaran, 2017).

Adicionalmente, Chandel et al. (2017), indican que también existen parámetros que afectan el proceso de biodigestión en etapas puntuales, por ejemplo, la relación carbono/nitrógeno, pH, sólidos volátiles, demanda química de oxígeno (DQO) que afectan los procesos de metanogénesis, además, afirman que temperaturas por debajo de los 15°C y sobre los 45°C permiten que la producción de biogás disminuya debido a que bacterias características de la etapa metanogénica desempeñan su proceso metabólico a una temperatura en específico. La digestión anaerobia toma lugar en un medio hermético donde no existe entrada de oxígeno, la temperatura dentro de este medio anóxico juega un papel importante ya que de esta dependerá que se acelere o no el proceso de biodigestión (Appels et al., 2008). Hodge (2017), indica que a altas temperaturas una tonelada de biomasa puede llegar a producir entre 200-400 m<sup>3</sup> de biogás con un contenido de metano del 50-75%.

## **1.7. DIFERENTES APLICACIONES Y TECNOLOGÍA DEL BIOGÁS**

El biogás puede purificarse hasta contener un 98% de metano, alcanzando las mismas propiedades del gas natural luego de un proceso de desulfuración y secado por enfriamiento. A pequeña escala, es empleado para la generación de energía eléctrica y mecánica en sistemas de combustión controlados por motores a calor, puede ser inyectado en una red de gas natural para la cocción de alimentos y generación de luz eléctrica una vez que se encuentre libre de impurezas y cuya concentración de metano sea alrededor del 98%. Por otro lado, el biosólido que se

forma, producto de la producción de biometano, puede ser utilizado como biofertilizante y también como materia prima para la elaboración de biopolímeros mediante la intervención de bacterias anaerobias (Da Costa, 2013). Las fuentes de energía renovables como el biogás, la biomasa, la energía eólica y el sol suministran un 15% de la demanda energética a nivel mundial. Alemania es el país con mayor producción de biogás, hasta el 2012 contaba con 1470 plantas funcionales, por otro lado, Suecia es el país líder en cuanto a la modernización del transporte a biogás, vehículos como buses y trenes ya funcionan con este biocombustible y además cuentan con estaciones de reabastecimiento ( Mengistu, Simane, Eshete y Workneh, 2015). Como indica Kadam et al. (2017), el metano es un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el dióxido de carbono por lo tanto las condiciones de almacenamiento deben ser rigurosas para evitar posibles fugas y contaminaciones. Este biocombustible representa una de las fuentes de energía renovable que se emplearán en un futuro cuando los combustibles fósiles sean escasos, por esta razón se debe hacer énfasis en buscar alternativas para mejorar su producción, además, se debe tomar en cuenta que la calidad del biogás depende principalmente de la materia prima, de los procesos de purificación y del uso de tecnología para su distribución a los consumidores.

## **1.8. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS DESECHOS DE CAMAL**

Los desechos de camal representan un foco de contaminación al medio ambiente y a las personas ya que son vertidos directamente al suelo o al agua sin recibir un tratamiento adecuado. Sin embargo, casi la totalidad de este material es biodegradable y rico en nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, de tal modo que, sería la materia prima ideal para convertirla en un producto amigable con el medio ambiente (Castro, 2011).

Por otro lado, Pacto es una parroquia que ha emprendido la producción de panela a gran escala logrando comercializar su producto a nivel nacional e internacional, no obstante, con el pasar del tiempo esta actividad agrícola ocasiona

el agotamiento de los suelos y obliga a los agricultores a fertilizar la tierra con productos agroquímicos que además de desequilibrar los nutrientes del suelo, percolan hacia los efluentes hídricos contaminando el agua (Massa, 2014).

Tomando en cuenta lo antes mencionado, este trabajo de investigación busca obtener los conocimientos necesarios para la correcta disposición de los desechos y a su vez reducir el impacto ambiental mediante la generación de energía renovable.

### **1.9. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN UN COLECTOR DE DESECHOS DE CAMAL**

La biodegradabilidad de los sólidos orgánicos depende de la actividad microbiana. El comportamiento de estos microorganismos obedecen a las características físico-químicas de la materia orgánica en la que se desarrollan, al tipo de materia orgánica en la que se encuentran y a los compuestos inhibidores o tóxicos que la misma contenga, por ende es importante distinguir cada uno de estos factores con el fin de conocer el nivel de predominio que tienen sobre el desarrollo de la comunidad anaerobia (Li, 2017).

A continuación, se especifican diez parámetros fisicoquímicos analizados por estrato y se pone en conocimiento su importancia para esta investigación.

pH: El pH es un parámetro que nos posibilita identificar el nivel de acidez o alcalinidad de la materia orgánica, el valor medido hace referencia al nivel de estabilidad del sustrato, valores bajos o extremadamente altos actúan como un factor inhibidor para el crecimiento de bacterias que requieren en específico un medio ácido o alcalino para su desarrollo. Su análisis es importante ya que bajo este principio se puede determinar si existe una actividad microbiana anaerobia

adecuada que metabolice las moléculas orgánicas que componen la biomasa (Borja et al., 2016).

**Temperatura:** Este parámetro afecta las propiedades fisicoquímicas de los componentes de la materia orgánica. Sirve para determinar la velocidad de crecimiento y metabolismo de los microorganismos, pues estos dependen de la temperatura del medio en que se encuentran. En efecto, las bacterias metanógenas son aquellas que más sufren a las fluctuaciones de temperatura, por esta razón se deben evitar cambios mayores a  $0.6^{\circ}\text{C}/\text{día}$  (Mao et al., 2016). Como se ha indicado, este parámetro controla el desarrollo microbiano anaerobio a lo largo de sus etapas de crecimiento, y cuando en la biomasa se mantiene dominado este factor la producción de biogás aumenta (Appels, Baeyens, Degre´ve y Dewil, 2008).

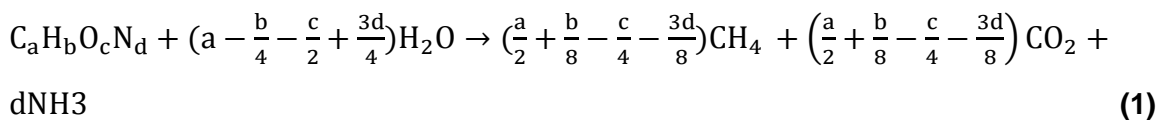
**Conductividad:** Su medida hace referencia a la capacidad que tiene una muestra para transportar corriente eléctrica, y se relaciona con la concentración de sustancias ionizadas que esta contenga. Se la utiliza para determinar una medida aproximada de la concentración de sustancias inorgánicas en una muestra y su valor es mayor a medida que la concentración de minerales aumenta, por otro lado, es utilizada para substituir la medida de los sólidos disueltos totales y determinación de la salinidad (Radojevic y Bashkin, 1999).

**Contenido de agua:** Hace referencia a la relación entre el peso del agua y el peso del sedimento en un volumen de sedimento expresado como porcentaje. Su concentración es útil cuando se deben informar las concentraciones de contaminantes sobre una base de peso seco (Mudroch, Azcue y Mudroch, 1996).

**Sólidos totales:** Corresponde a la cantidad de materia sólida contenida por unidad de medida. Este parámetro equivale a las sustancias orgánicas e inorgánicas, microorganismos y partículas grandes como arena y arcilla (Radojevic y Bashkin, 1999). Los sólidos totales también pueden determinarse a partir del análisis de los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables. La

importancia del estudio de los sólidos totales tiene que ver con el rendimiento de la producción de biogás, pues, los microorganismos anaerobios se comportan de manera distinta a medida que su concentración aumenta en el medio (Yi, Dong, Jin y Dai, 2014).

**Sólidos volátiles:** Su contenido hace referencia a la volatilización de la fracción orgánica de la muestra a altas temperaturas, quedando como ceniza la fracción inorgánica también denominadas sólidos volátiles suspendidos y sólidos volátiles fijos respectivamente (Radojevick y Bashkin, 1999). Su valor se mide a partir de los sólidos totales menos la ceniza remanente, obtenida por combustión completa. Los sólidos volátiles contienen lípidos, proteínas y carbohidratos los cuales permiten estimar la biodegradabilidad del residuo y la generación de biogás; de los tres componentes, los lípidos están presentes en un 30%. Harris (2015) menciona que cuando el rendimiento bioquímico de metano es comparado, los lípidos producen desde 903.9 a 1101.2 L/kgVS, las proteínas 740 L/kgVS y los carbohidratos 370 L/kgVS. El residuo remanente de la calcinación de los sólidos volátiles constituye la porción inorgánica de los sólidos que a la vez es un indicativo del contenido de minerales que posee el material digestado (N, P, K, Ca, etc) (Karthikeyan, Heimann y Muthu, 2016). Liu, Wang, Ji, Qian, Huang y Lu (2015) afirma que se puede determinar el potencial bioquímico de metano a través del análisis de los diferentes componentes específicos que contienen los sólidos volátiles mediante las ecuaciones (1) y (2).



$$TBMP = V_m(a/2 + b/8 - c/4 - 3d/8)/(12.011a + 1.008b + 15.999c + 14.007d) \quad (2)$$

Donde:  $V_m$  representa el volumen molar estándar de metano a presión y temperaturas estándar.

Sólidos suspendidos: Corresponde la fracción de sólidos presentes en agua como material no disuelto, estos a su vez se comprenden a los sólidos sedimentables, flotantes y no sedimentables (coloidales), pueden contener sustancias orgánicas o inertes que causan turbidez al agua (Plaza y Valdez, 2003). Su determinación es importante para el análisis de aguas contaminadas así como para evaluar la eficiencia de los tratamientos (Radojevic y Bashkin, 1999).

Sólidos disueltos: Es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o sustancias coloidales que consisten en partículas finamente divididas de geles, emulsiones y espuma (Punmia y Jain, 1998).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Se refiere a la medida del oxígeno equivalente de la materia orgánica en una muestra que es susceptible a oxidación mediante agentes oxidantes fuertes (Radojevic y Bashkin, 1999). La biodegradabilidad de la materia orgánica se puede medir mediante el análisis de DQO o mediante la destrucción de los sólidos volátiles (Christensen, 2011). En los desechos de camal, los niveles de DQO pueden ser muy altos dependiendo de la composición del sustrato y del grado de dilución, su determinación es importante ya que permite estimar el contenido orgánico que será biodegradado por digestión anaerobia (Ahmad, Ejaz, Ali, y Durrani, 2014). Ahmad et al. (2014) afirman que las concentraciones de DQO en los desechos de camal oscilan entre 18000 mg/L a 43000 mg/L, y dependiendo de la composición y dilución de estos desechos, pueden alcanzar niveles de hasta 100000 mg/L; además, indican que niveles de pH entre 7-8 así como temperaturas entre 35-37°C permiten una mayor reducción de los niveles de DQO.

Sulfatos: Gravimétricamente se determina como sulfato de bario mediante la precipitación de la muestra en medio ácido. Su análisis es útil para evaluar la actividad microbiana de bacterias sulfatoreductoras que producen sulfuros (Visser, 1995).

Nitrógeno Amoniacal: Se compone de la suma del ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y el amoniaco libre ( $\text{NH}_3$ ), se origina de la degradación del nitrógeno orgánico, puede estar presente en la materia orgánica o ser producido durante la degradación anaeróbica de compuestos orgánicos nitrogenados tales como proteínas o aminoácidos (Martí, 2006). El nitrógeno amoniacal es importante para el crecimiento bacteriano; sin embargo, una limitación excesiva puede limitar su crecimiento (Varnero, 2011).



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. MUESTREO DE GASES

El muestreo de los gases se realizó en el colector de desechos de camal de la parroquia Pacto, ubicada al noroccidente de la ciudad de Quito el día 28 de mayo del 2017. Debido a fallas en la compra de materiales para la medición de gases mediante el analizador de gases TESTO 350, no se pudo medir *in-situ* el metano propano y butano. Se midió ácido sulfhídrico mediante los servicios de un laboratorio acreditado “GRUNTEC” (figura 2).



Figure 2.- Muestreo de ácido sulfhídrico en el colector de desechos de camal de Pacto con el analizador de gases “TESTO 350”

#### 2.1.1. Características del Analizador de gases de combustión

El analizador de gases TESTO 350 es un equipo de muestreo portátil, calificado para el trabajo de campo así como para mediciones en fuentes fijas. Funciona mediante sensores electroquímicos los cuales poseen una membrana permeable al gas que se va a medir; una vez que este atraviesa se dirige al

electrodo en donde se produce una reacción química que origina la formación de iones, los mismos que migran a través de una solución electrolítica al electrodo contador produciendo una segunda reacción química, a la vez, esta segunda reacción provoca una corriente que es equivalente a la concentración del gas que se está midiendo (Carzola, 2013).



Figure 3.- Analizador de gases de “TESTO 350”

#### **2.1.2. Toma de muestras para el análisis de hidrocarburos**

Para el análisis de metano, propano y butano, se recolectó la muestra en bolsas Tedlar con la ayuda de una bomba de vacío. Estas bolsas sirven para el muestreo de aire contaminado, son fabricadas con materiales inertes e impermeables al gas. Las bolsas Tedlar deben purgarse antes del llenado de la muestra utilizando aire puro o nitrógeno y una fuente de vacío. Deben permanecer selladas y comprobar que se encuentren totalmente vacías antes del llenado de la muestra. Una vez terminada la operación de llenado, la bolsa debe cerrarse cuidadosamente comprobándose que no existan fugas. El llenado excesivo de las bolsas no es aconsejable ya que acorta su duración.



Figure 4.- Recolección de muestras de gas en fundas Tedlar mediante una bomba de vacío

Para la recolección de la muestra de gas (figura 4), se introdujo la manguera de entrada de aire de la bomba en el colector de desechos tomando en cuenta que no existan fugas, se conectó la manguera de salida de aire en la válvula abierta de la funda Tedlar, se prendió la bomba y se llenó de gas en una cantidad moderada para que la funda no explote.

Las muestras de gas fueron guardadas en un cooler y trasladadas a las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), donde se midió metano, propano y butano con un analizador de gases “TESTO 350” tal como lo indica la figura 5.



Figure 5.- Análisis de metano, propano y butano en muestras de gas del colector de desechos de camal de Pacto

## 2.2. MUESTREO DE LOS DESECHOS DE CAMAL

La toma de muestras de lodo se realizó en un colector de residuos de camal de la parroquia Pacto, al noroccidente de la ciudad de Quito el día 28 de mayo del 2017. El muestreo de los desechos se realizó posterior al muestreo de gases. La recolección de los nueve estratos fue realizada con un dispositivo diseñado específicamente para muestrear fangos residuales en una piscina de 1.75 cm de profundidad de material acumulado. El diseño de este dispositivo de muestreo (figura 6) fue efectuado con base en la necesidad de realizar la toma de muestras en 9 estratos consecutivos (cada 15 cm). El equipo de muestreo fue introducido tres veces en el colector de desechos recolectando tres submuestras por estrato, en total se obtuvieron 27 frascos de 2 litros con muestra, estos fueron depositados en coolers, trasladados al laboratorio y refrigerados a una temperatura de 4°C previo al análisis.

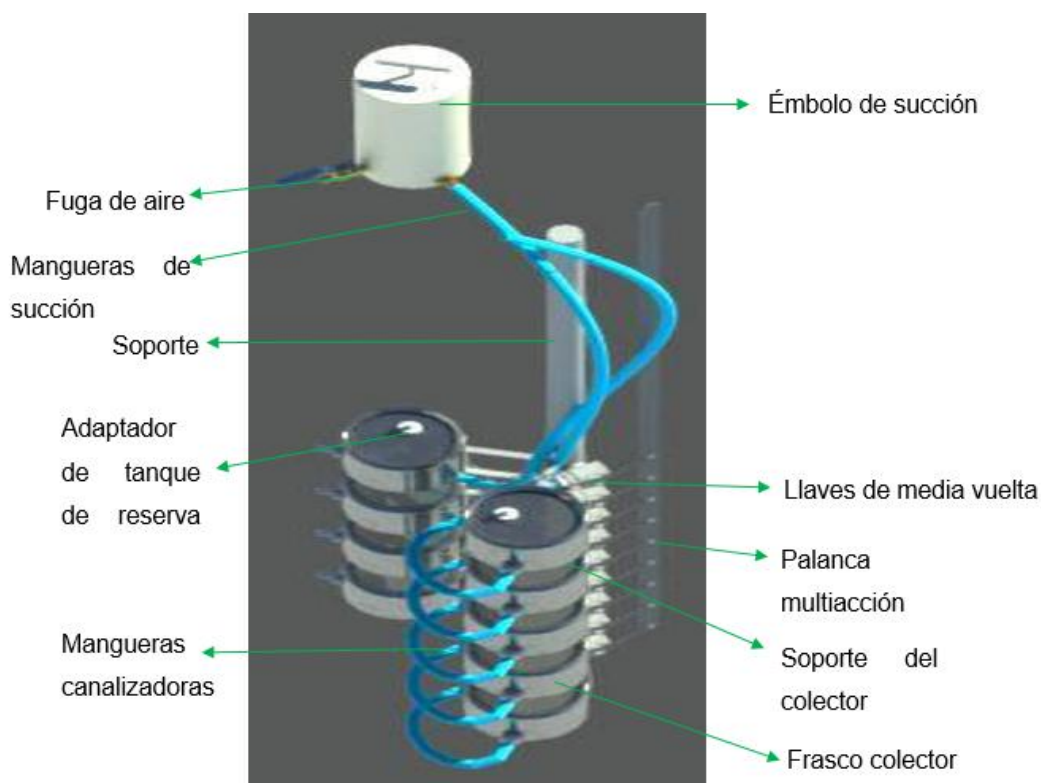


Figure 6.- Esquema del equipo muestreador de lodos residuales del colector de desechos de camal de Pacto



Figure 7.- Toma de muestras del colector de desechos de camal

### 2.2.1. Características del diseño del colector de desechos de camal

El colector de desechos de camal es una construcción de concreto con las siguientes dimensiones: 12 m de largo; 2 m de ancho y 2 de profundidad aproximadamente, de los cuales 1.75 m se encuentra colmatado de residuos y el espacio sobrante lo ocupan los gases que se generan como producto de la biodegradación de la materia orgánica. El tiempo de acumulación de los residuos de camal se viene generando desde aproximadamente 6 años, durante este lapso, no se ha aplicado ningún plan de manejo para el tratamiento de estos desechos. Además, no existe un documento oficial donde se registre y se especifique con exactitud las dimensiones de la construcción ni el año en que se construyó el camal con su respectivo tanque colector.





Figure 8.- Colector de desechos de camal

Como se puede observar en la figura 8, el diseño del colector es únicamente realizado con fines de acumular la materia orgánica residual, posee tres tubos de desfogue para la salida de los gases que se generan dentro del tanque. Los residuos que se acumulan en este tanque colector viajan cierta distancia a través de una alcantarilla expuesta al aire libre (figura 9) desde el lugar donde sacrifican los animales y más adelante continúa de forma subterránea hasta llegar al colector de desechos.



Figure 9.- Alcantarilla de evacuación de los desechos que se originan en camal

### 2.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE LODO DE DESECHOS DE CAMAL

Se realizó la determinación de temperatura, pH, conductividad, contenido de agua, demanda química de oxígeno (DQO), sulfatos, nitrógeno amoniacal, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, cada parámetro fue analizado por duplicado. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de microescala en la Escuela de Ciencias de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la PUCE.

Los métodos aplicados para el desarrollo experimental de este trabajo de disertación han sido los establecidos por diferentes organismos internacionales de reconocimiento los mismos que se detallan a continuación.

PARÁMETRO	MÉTODO
Sólidos Totales	EPA-1684
Sólidos Suspendidos	ASTM D5907-13
Sólidos Volátiles	EPA-1684
Sólidos Disueltos	ASTM D5907-13
Conductividad	EPA-8160
Nitrógeno Amoniacal	Método colorimétrico 10031-HACH
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	EPA-410

Nitrógeno Amoniacal	Método 1684 US-EPA
Sulfatos	EPA-375.3
Contenido De Agua	ME 740-78.
pH	EPA-150.1
Temperatura	EPA-150.1

\*NEMI: National Environment Methods Index of Unites States.

\*US-EPA: United States Environmental Protection Agency .

\*ASTM: American Society of Testing Materials

## 2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### 2.4.1. PROGRAMA ESTADÍSTICO “STATGRAPHICS”

Se trata de una herramienta de análisis de datos que posee una variedad de métodos analíticos que mediante gráficos proporciona un entorno integrado de análisis que puede ser aplicado en cada una de las fases de un proyecto. El programa cuenta con funciones estadísticas avanzadas que permiten proporcionar análisis rigurosos y netamente confiables. Los resultados obtenidos pueden ser visualizados en forma numérica y gráfica. Las salidas numéricas ofrecen cuadros diseñados para presentar los resultados cuantitativos del análisis bien mediante tablas de relación, mediante la expresión de los índices o coeficientes, producto de la investigación. Las salidas graficas suelen complementar los resultados expresados de forma numérica, los tipos de gráficos ofrecidos pueden ser representados en forma de diagramas de barras, gráficos de líneas, representaciones cartesianas, gráficos sectoriales (Santos, 2010).



Análisis de varianza ANOVA de un factor es un método de prueba de igualdad de tres o más medias poblacionales por medio del análisis de las varianzas muestrales. Mediante esta prueba se intenta determinar si la varianza intergrupos es mayor que la varianza intragrupos con respecto a una variable medida en el total de los elementos que componen la muestra. En otras palabras, se habla de análisis unifactorial porque se considera un solo factor o variable independiente que divide en grupos al conjunto las unidades de análisis de tal manera que la variable dependiente (estratos) siempre es una variable categórica; y la variable independiente (parámetros) una variable cuantitativa (García y Cáceres, 2014).

La prueba F de Fisher que forma parte del análisis de varianza, mediante el valor de P sirve para determinar si en algunas de las posibles diferencias entre medias de los resultados analizados, existen o no diferencias significativas, si existen estas diferencias se aplica una prueba de rangos múltiples que permite determinar en específico cuáles medias difieren de otras mediante su asociación en grupos homogéneos alineándose en columnas (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

### 3. RESULTADOS

La caracterización de los once parámetros fisicoquímicos fue efectuada en 27 muestras de lodo tomadas de forma estratificada, el análisis fue realizado por duplicado cuyos resultados se figuran en la sección de Anexos.

#### 3.1. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS MEDIDOS EN LOS DIFERENTES ESTRATOS

En las gráficas se indican el valor de cada uno de los parámetros fisicoquímicos analizados con respecto a la profundidad, indicando el valor medio de la medición y su dispersión como se observa en la siguiente figura.

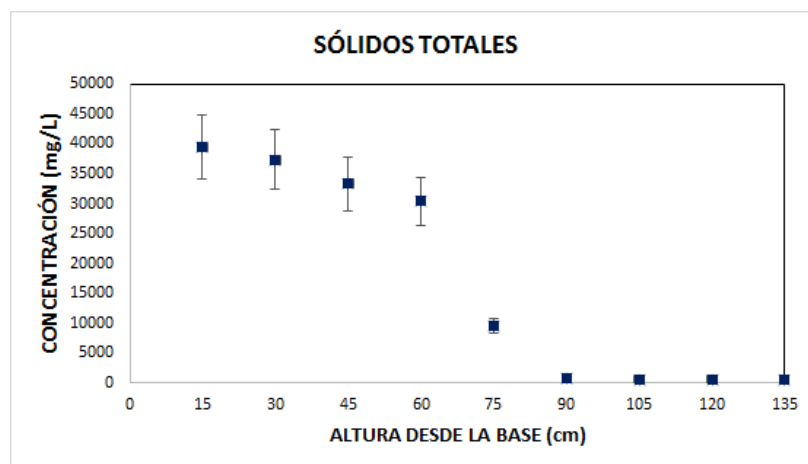


Figure 10.- Concentración de sólidos totales (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos

La figura 10 corresponde al contenido de sólidos totales por nivel de profundidad, puede notarse que la concentración de este parámetro disminuye gradualmente desde el primer estrato, a los 15 cm de altura desde la profundidad, hasta el estrato 9 a los 135 cm de altura. A partir de los 75 cm de altura se observa

una disminución considerable de la concentración sólidos totales indicando claramente que la parte sólida que se compone principalmente de materia orgánica, se encuentra asentada en el fondo del colector.

Yi et al. (2014), menciona que la actividad microbiana y rendimiento de metano se produce en un medio donde la concentración de sólidos totales es alta ya que su contenido implica la presencia de materia orgánica necesaria para el desarrollo de bacterias, por esta razón, los primeros estratos se pueden considerar como el sustrato óptimo para la actividad microbiana anaerobia.

Por otro lado, Aboudi, Álvarez y Romero (2017), monitorearon el rendimiento de metano probando concentraciones de sólidos totales del 5 y 8% en sustratos lignocelulósicos y demostraron que a mayor contenido de sólidos totales la producción de biogás aumenta debido a la mayor disposición de átomos de carbono en el sustrato. Sin embargo, Saucedo (2007), menciona que la actividad anaerobia opera en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, además que la biomasa más adecuada posea un alto contenido en humedad ya que estudios realizados por Hilbert (1998), mostraron que conforme aumenta la concentración de sólidos, disminuye la movilidad de las bacterias metanogénicas en el sustrato, lo cual reduce la eficiencia de la biodigestión.

Otro de los parámetros analizados son los sólidos volátiles los cuales están relacionados con la cantidad de materia orgánica presente. En la figura 11 se puede evidenciar que su valor disminuye desde el fondo del colector hacia la superficie con concentraciones desde 24186-214 mg/L respectivamente. Adicionalmente puede apreciarse que, a partir de los 75 cm de altura del perfil de lodo, los sólidos volátiles disminuyen notablemente, este comportamiento indica que el mayor contenido de material orgánica se encuentra en los primeros niveles de profundidad similar a lo que ocurre con los sólidos totales.

Carrasco, Majone y Beccari (2008), realizaron un estudio en lodos de aguas residuales con el objetivo de acelerar su degradación, de tal manera que añadieron residuos alimentarios que aumenten la carga orgánica y permitan optimizar el proceso, en efecto, obtuvieron un mayor porcentaje de degradación de los sólidos volátiles y un aumento notable en la producción de biogás, deduciendo que un medio con alta carga orgánica es necesario para el desarrollo bacteriano anaerobio.

(Hagos, Zong, Li, Liu, y Lu, 2017) indican que los residuos proveniente de mataderos poseen un alto contenido de grasa fácilmente degradable, además, contiene proteínas que proporcionan mucha energía y una cantidad relativamente alta de metano en el biogás; sin embargo, argumenta que la degradación microbiana de proteínas da como resultado la liberación de iones amonio (específicamente el amoniaco) que son inhibidores de bacterias metanogénicas y conducen a una inestabilidad del proceso, pero que para contrarrestar este fallo se debería regular la proporción C/N así como los niveles de pH.

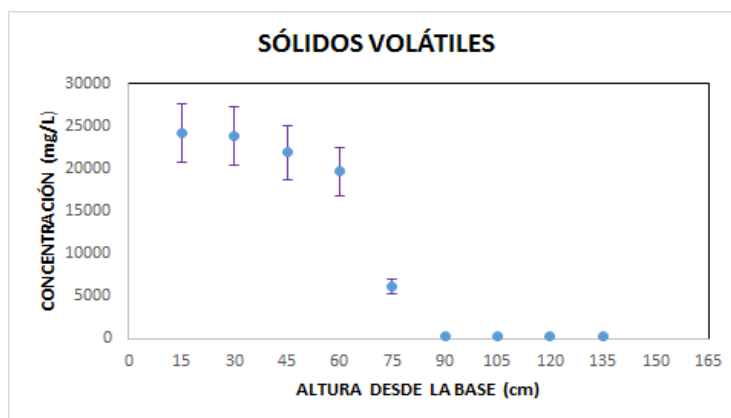


Figure 11.- Concentración de sólidos volátiles (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos

La misma disposición se observa en los sólidos suspendidos (Figura 12), los primeros niveles de profundidad presentan mayor cantidad de material no filtrable con respecto a los estratos de mayor altura, específicamente con concentraciones de 39226-211 mg/L respectivamente, así mismo, a partir de los 75 cm de altura

puede notarse que el material suspendido disminuye gradualmente. Stronach, Rudd y Lester (2012) indican que la naturaleza y composición de los sólidos suspendidos varía considerablemente con el tipo de desecho, podría tomarse en cuenta que las muestras de lodo del colector contenían una gran cantidad de material fecal no degradado lo cual aumenta visiblemente el contenido de sólidos suspendidos.

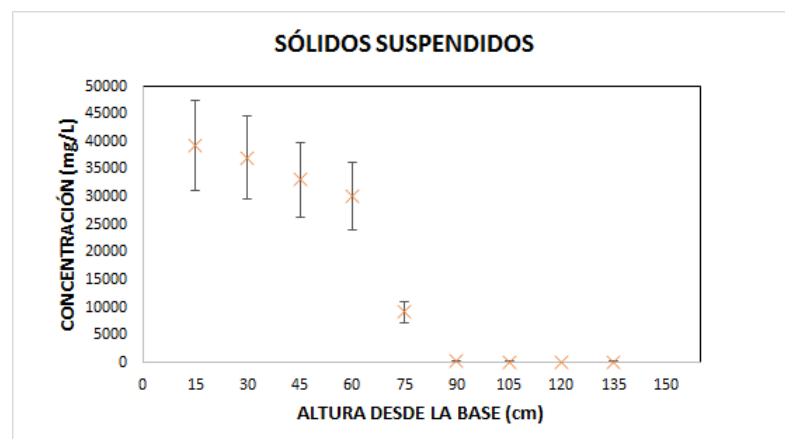


Figure 12.-Concentración de sólidos suspendidos (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos

La figura 13, que corresponde a los sólidos disueltos medidos por gravimetría indica que en los estratos superiores su contenido es mayor, en los niveles más profundos presenta concentraciones de 183.67 mg/L hasta valores de 394.33 mg/L a mayor altura, esto demuestra que la cantidad de sustancias inorgánicas aumentan hacia la superficie del colector donde hay mayor cantidad de agua y menor material sólido que facilite el movimiento de los iones.

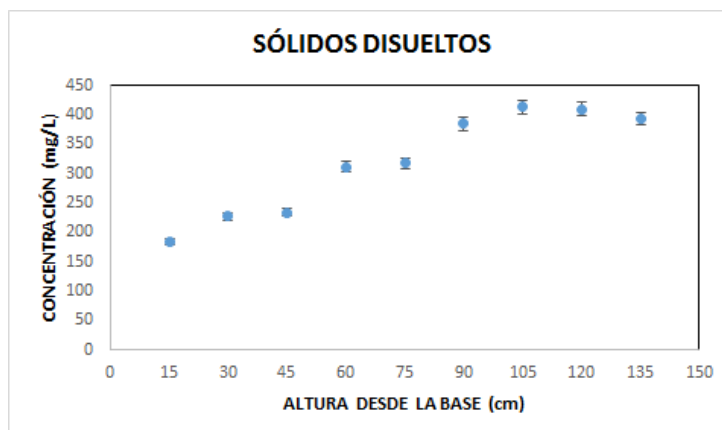


Figure 13.- Concentración de sólidos suspendidos (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos

Es importante mencionar que este parámetro se relaciona con la conductividad. La conductividad se la utiliza como una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). Podemos observar en la figura 14, que la conductividad aumenta gradualmente hacia los estratos más superficiales, es decir, la gráfica tiene el mismo comportamiento que la de los sólidos disueltos. Padrino (2016) afirma que la conductividad se relaciona con el contenido de sales en solución y que su medida depende principalmente de la movilidad de iones, la presencia de compuestos orgánicos tales como alcoholes y azúcares, valencia de iones y temperatura.

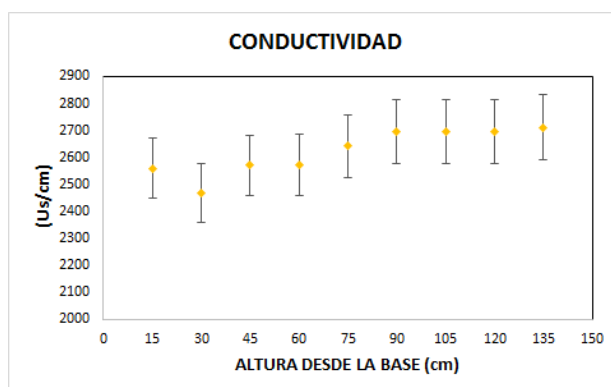


Figure 14.- Conductividad (uS/cm) por altura desde la base del colector de desechos

Ortiz (2011) estudió el efecto de la conductividad en muestras de fango para observar el comportamiento de las bacterias metanogénicas y encontró que a partir de cierta concentración la actividad metanogénica empieza a disminuir debido a los efectos inhibitorios por salinidad o acumulación de iones, de tal modo que a medida que la conductividad aumenta, las bacterias se ven obligadas a igualar las concentraciones salinas entre el interior celular y el medio, de tal forma que se ven forzadas a expulsar el agua de su interior provocándoles deshidratación y en consecuencia la muerte, que se manifiesta en la disminución de metano producido. La figura 15 representa el comportamiento de la conductividad y contenido de sólidos disueltos en las diferentes alturas del colector de desecho y se puede observar que los dos parámetros tienen la misma tendencia.

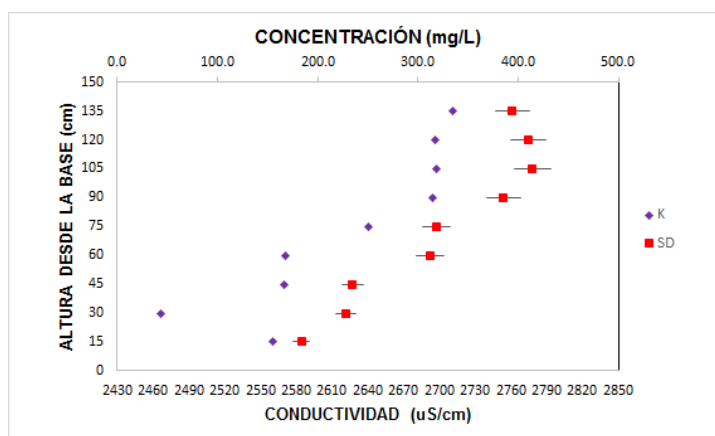


Figure 15.- Comportamiento de los sólidos disueltos y conductividad por altura desde la base del colector de desechos

En la figura 16, se observan los valores correspondientes a la demanda química de oxígeno (DQO), los resultados muestran altas concentraciones en la parte profunda del colector y una disminución notable hacia la superficie (desde 35333, hasta 330 mg/L). Haciendo una comparación con los sólidos totales, suspendidos y sólidos volátiles, puede notarse que en las figuras los cuatro parámetros tienen la misma tendencia, de esta manera se afirma que en los estratos más profundos la acumulación de materia orgánica es mayor. Harris et al. (2015), menciona que las concentraciones de DQO y metano dependen del

contenido de materia orgánica, así como un adecuado control de humedad y pH. No obstante, argumenta que altos contenidos de sustancias orgánicas también pueden inhibir la producción de biogás debido a la formación de ácidos grasos volátiles que a altas concentraciones reducen el pH del medio y en efecto la actividad metanogénica.

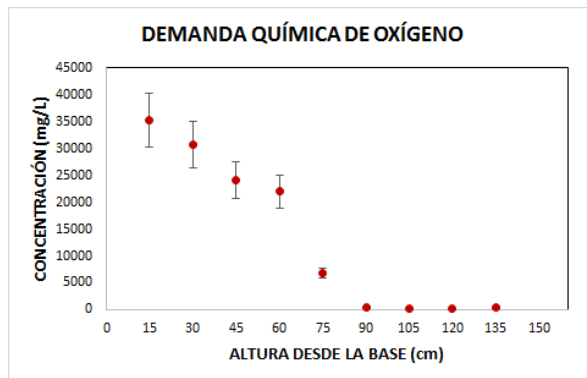


Figure 16.-Concentración de DQO (mg/L) por altura desde la base del colector de desechos

García (n.d), hace referencia al comportamiento anaerobio en fangos y afirma que cuando la carga orgánica es baja, la población bacteriana reduce su actividad metabólica debido a la poca disponibilidad de sustrato y, en consecuencia, la producción de biogás se reduce, y que si la carga orgánica aumenta excesivamente la concentración de ácidos aumenta y también se limita la producción de biogás. Además, argumenta que, aunque la DQO es el parámetro más óptimo para expresar la cantidad de materia orgánica químicamente oxidable contenida en el sustrato, no permite determinar la cantidad de materia que no puede ser biodegradable. Un gráfico que resume el comportamiento de los sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno se muestra en la figura 17.



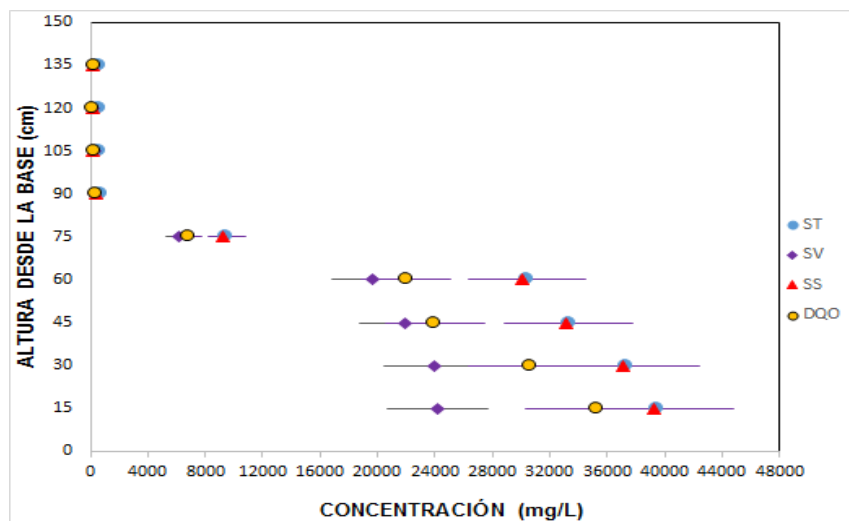


Figure 17.- Comportamiento de los sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno por nivel de profundidad.

En la figura 18, puede observarse la concentración de nitrógeno amoniacal por nivel de profundidad. En las alturas 30 y 75 las concentraciones son de 210,00 y 210,83 mg/L, siendo las más altas en todo el perfil del lodo. Por el contrario, a los 15 cm de altura, puede notarse que la concentración es la más baja de entre los estratos de mayor profundidad.

Hagos et al. (2017), en sus estudios sobre los procesos de co-digestión anaerobia para la producción de biogás, menciona que los residuos de matadero son ricos en nutrientes proteicos que a su vez le proporcionan al sustrato energía para una producción relativamente alta de metano, sin embargo, una vez que las bacterias digieren esta proteína la desdoblan a nitrógeno amoniacal, y puesto que el pH y la temperatura regulan el comportamiento del nitrógeno amoniacal, ha podido notar que en medios alcalinos la forma ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ) cambia y libera amoníaco o su forma no ionizada, provocando inhibición principalmente de las bacterias metanogénicas, por lo tanto, se podría decir que los resultados obtenidos no representan una amenaza para el crecimiento bacteriano por intoxicación de amoníaco, ya que los niveles de pH se mostraron levemente alcalinos en su mayoría. En la gráfica combinada de la figura 18 se observa que en los primeros estratos las concentraciones más altas de nitrógeno amoniacal se encuentran a un

nivel de pH levemente alcalino (7.1-7.2), y la concentración más baja a un nivel levemente ácido, esto confirma lo indicado anteriormente, que depende mucho del equilibrio entre el amonio y amoniaco para mantener una estabilidad del proceso y que este equilibrio depende totalmente de los factores operacionales (pH y temperatura).

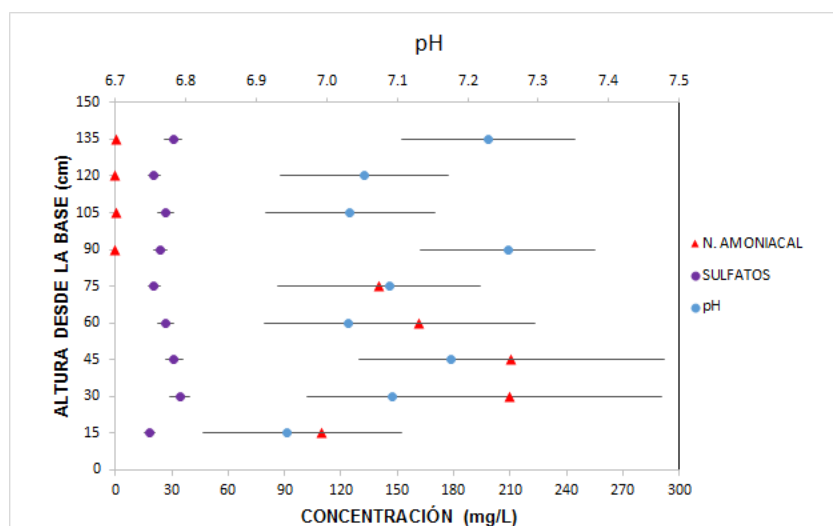


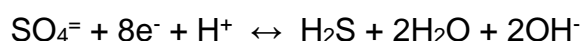
Figure 18.- Comportamiento del pH, nitrógeno amoniacal y sulfatos por nivel de profundidad.

Dado que Días (1996) comprobó que los niveles de nitrógeno amoniacal que inhiben de manera considerable la actividad metanogénica están entre 212-805 mg/L y que los metanógenos pueden adaptarse a concentraciones de amoniaco por encima de los 1200 mg/L sin que se produzca una fase de retardo siempre y cuando la concentración de amoniaco aumente lentamente (Kwietniewska, 2014), se puede decir que los resultados obtenidos se encuentran en su mayoría dentro del rango aceptable para el desarrollo bacteriano.

La presencia de sulfatos también representa un factor determinante en el desarrollo de bacterias productoras de biogás. En la figura 18 puede observarse la concentración de sulfatos por altura desde la base del colector de desechos, los resultados varían en un rango de 18,04 hasta 34,36 mg/L en todo el perfil de lodo

siendo las alturas de 15 y 30 cm las de menor y mayor concentración respectivamente.

Las bacterias sulfato-reductoras están presentes en compuestos orgánicos ricos en azufre, estos microorganismos compiten por el sustrato (hidrógeno y acetatos) con las bacterias metanogénicas produciendo ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y causando inhibición al crecimiento de microorganismos (principalmente a las metanogénicas acetotróficas). La degradación de sulfatos es extremadamente indeseable ya que reduce la producción de metano y provoca excesivo mal olor, además no solo las bacterias metanógenas mueren por intoxicación de este gas sino las mismas sulfatoreductoras (Dai, 2017).



Espinosa, Celis, Ramirez, y Monroy (2007) en su estudio sobre el efecto del sulfato en la degradación anaerobia encontraron que la actividad metanogénica se redujo a un 50% cuando la concentración de sulfuros se encontraba entre 564-590 mg/L (es decir 1327-1388 mg/L de sulfato reducido) y que en concentraciones de 800 mg/L de sulfuros (es decir 1882 mg/L de sulfatos reducido), se produjo una inhibición del 75% de las bacterias productoras de metano, en los resultados observados en la figura 18, (máximo 34,36 mg/L) estos se muestran significativamente bajos, y en base a ello se podría afirmar que la disponibilidad de sulfatos en el colector de desechos es bastante baja causando un efecto mínimo o casi nulo sobre la actividad metanogénica.

Es importante dar a conocer que el análisis de sulfatos resultó bastante complicado por el método gravimétrico por la alta carga de sólidos que contenían las muestras, y a pesar que para ello se realizó un proceso exhaustivo de filtración, al momento de añadir ácido clorhídrico a la muestra, se formaba una especie de precipitado color café que impedía observar la formación del precipitado sulfato de

bario, por ende previo a la precipitación se volvió a filtrar la muestra que probablemente causó pérdida del analito.

La velocidad de crecimiento de las bacterias anaerobias está estrictamente regulada por los cambios de pH, que a su vez van a depender de la composición de los desechos, en la figura 18 se puede notar que a los 15 cm de altura el valor del pH es 6.9 (levemente ácido) y a los 90 cm de altura el valor es de 7.3 (levemente alcalino) siendo estos resultados los mínimos y máximos encontrados en todo el perfil de lodo. En base a estos resultados se puede decir que en el primer nivel de profundidad existen sustancias que acidifican levemente la capa de lodo, por ejemplo, los ácidos grasos volátiles de cadena corta, son nutrientes que de manera indirecta se convierten en sustancias inhibidoras porque acidifican el medio y reducen los niveles de pH (Braguglia, Gallipoli, Gianico y Pagliaccia, 2017) .

Appels (2008) indica que, en las primeras etapas de la digestión anaerobia, compuestos como los ácidos grasos volátiles tienden a reducir los niveles de pH, pero que el proceso se estabiliza en las etapas posteriores cuando las bacterias metanogénicas producen alcalinidad por formación de dióxido de carbono y bicarbonatos.

Hagos et al. (2017) dan a conocer que el pH es un factor importante que regula las proporciones de sustancias inhibidoras como el sulfuro de hidrógeno, ácidos grasos, amoníaco. Además, indican que los multi-organismos anaerobios se desarrollan en diferentes niveles de pH, pero que en general el rango adecuado para obtener una producción máxima de biogás oscila entre 6.8-7.2, en base a esto, se podría afirmar que los resultados obtenidos son óptimos para el desarrollo de microorganismos anaerobios.

Sin embargo, no se puede generalizar que un pH neutro sea el adecuado para toda la comunidad bacteriana anaerobia, es por eso que Kwietniewska et al. (2014) mencionan que las etapas de hidrólisis/acidogénesis se desempeñan mejor

a un pH entre 5.5-6.5, así como las bacterias acetogénicas y metanogénicas prefieren un ambiente neutro (7.0), en efecto, sería recomendable un proceso que separe estas dos etapas para un crecimiento microbiano óptimo y buena producción de biogás.

La temperatura resulta ser un parámetro determinante para la biodegradación de desechos, puede ser un factor inhibidor para las bacterias ya que disminuye la eficiencia de las diferentes etapas de digestión, debido a que necesitan temperaturas específicas para su buen rendimiento. En la figura 19, se muestra que las temperaturas medidas en los 9 estratos fluctúan entre 23.0-23.6°C. A la altura 75 y 90cm las temperaturas fueron iguales siendo estos los de menor valor, a los 105cm de altura se ubicó el valor máximo. A los 15, 60, 120 y 135 centímetros de altura la temperatura fue de 23.3 °C y de 23.5 °C a las alturas 30 y 45cm. En base a los estudios realizados por Tezel, Tandukar y Pavlostathos (2011) las temperaturas medidas en las muestras de lodo no son lo suficientemente adecuadas para el desarrollo de bacterias metanogénicas sin embargo, proporcionan un ambiente adecuado para las etapas iniciales de la biodigestión, hidrólisis/acidogénesis. Las bacterias metanogénicas prefieren un medio con temperaturas entre 30-42°C, a valores por debajo de los 15°C no solo disminuye la producción de metano por reducción de la población metanogénica, sino que, también aumenta la disolución del gas.

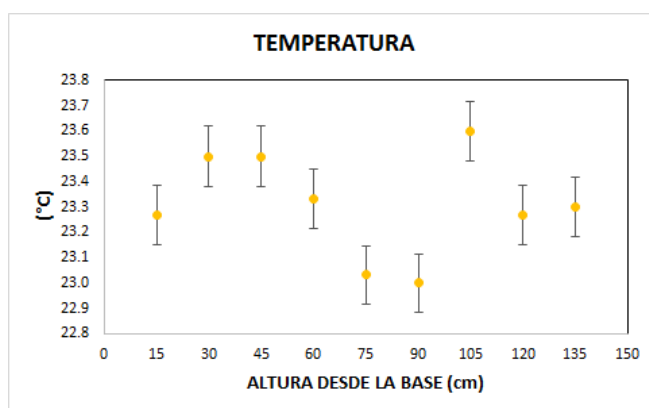


Figure 19.- Temperatura (°C) por altura desde la base del colector de desechos de camal

Ortiz et al. (2011), manifiesta que, a temperaturas altas, la solubilidad de los gases disminuye, siendo un efecto positivo para los microorganismos a ser expuestos a gases como  $H_2S$ ,  $NH_3$ , sin embargo, gases como el  $CO_2$  que proporciona alcalinidad al medio también disminuye y esto provoca un aumento en el pH provocando efectos inhibitorios por presencia de amoníaco.

Como se ha indicado, las temperaturas extremas causan efectos negativos en la biodigestión, y al igual que el pH, los microorganismos necesitan que estos parámetros sean controlados y constantes en cada etapa metabólica, tal es el caso que si se provocan cambios bruscos de la temperatura en  $0.5\text{ }^{\circ}C$ , el proceso de biodigestión se desestabiliza.

Finalmente, los procesos anaerobios requieren de medios con un contenido de humedad considerable para su buen funcionamiento, es por esto que se determinó el contenido de agua como lo muestra la figura 20. El contenido de agua a los 15 cm de altura fue de 96.1 % y a los 135 cm de altura se obtuvo un 99.9%, dado que en el fondo del colector de desechos se encuentra asentada la parte sólida, es evidente que los niveles de humedad sean menores a los de la superficie. Aboudi et al. (2017) aducen que el bajo contenido de agua afecta el metabolismo de los microorganismos debido a que aumenta la acidez del medio y en consecuencia la inhibición de bacterias, pero que altos niveles de humedad disminuyen la producción de metano. Nayono, (2010) indica que el nivel de humedad de los residuos orgánicos va a depender de su origen, y que para asegurar el crecimiento adecuado de los microorganismos estos deben desarrollarse en un medio con un porcentaje de humedad entre el 40 y 60 % ya que niveles inferiores inhiben el crecimiento de bacterias, se dificulta el bombeo y agitación de la biomasa, por el contrario, niveles superiores de humedad producen lixiviados que generan mal olor.

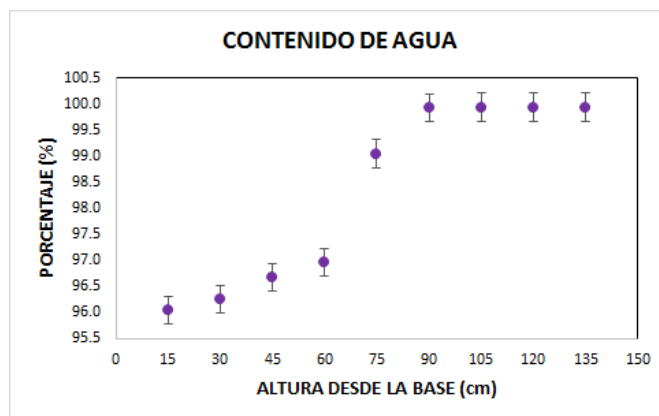


Figure 20.-Contenido de agua (%) por altura desde la base del colector de desechos de camal

Finalmente, cabe recalcar que el contenido de agua varía según la materia prima utilizada, en este caso ya que se trata de un colector de desechos de camal donde se deposita toda el agua utilizada durante el proceso de faenamiento los niveles de humedad son altos, sin embargo debe desarrollarse mecanismos para obtener lodos con menor porcentaje de humedad.

### 3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN DIFERENTES ESTRATOS

Mediante el programa estadístico “STATGRAPHICS” se realizó un análisis de varianza de un factor para comparar los valores medios de cada parámetro para los 9 niveles de profundidad.

Además, se realizó un ANOVA simple que mediante la prueba-F permitió determinar si existen o no diferencias significativas entre las medias de las variables analizadas. Para determinar cuáles medias fueron significativamente diferentes de otras, se aplicó la prueba de rangos múltiples con un nivel de confianza al 95%.

En la tabla 1, al igual que la A, B y C (Anexo 1) se detallan los promedios, desviación estándar, coeficiente de variación y grupos homogéneos en los

parámetros analizados, se puede observar que tanto las desviaciones estándar y coeficiente de variación son altos (mayores al 10%). La baja reproducibilidad y alta dispersión en los análisis realizados se puede relacionar con las submuestras tomadas en cada nivel de profundidad muestreado las cuales no fueron homogéneas dado que unas contenían mayor contenido de material sólido o líquido que otras y por lo tanto fue un factor que pudo interferir en la precisión de los resultados.

En la Tabla 2 se dan a conocer los grupos homogéneos formados una vez que se aplicó esta prueba identificando que, en cada parámetro, los estratos de un mismo color son homogéneos entre si dando a conocer que estadísticamente existen estratos en el que varios parámetros son homogéneos, dando la idea de que el colector puede dividirse en zonas en las que se experimentan fenómenos diferentes.



Tabla 1. Prueba de Rangos Múltiples en los parámetros, sólidos totales, sólidos volátiles y sólidos suspendidos.

Parámetro	Nivel de Profundidad	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Grupos Homogéneos
Sólidos totales	120	596,5	21,2309	3,55924%	X
	135	605,833	5,48483	0,905336%	X
	105	616,833	40,5966	6,58145%	X
	90	745,5	26,1868	3,51265%	X
	75	9506,17	2629,11	27,6569%	X
	60	30395,8	7274,63	23,933%	X
	45	33336,2	3793,46	11,3794%	XX
	30	37358,0	4975,58	13,3187%	X
	15	39479,8	6073,75	15,3844%	X
Sólidos Volátiles	Nivel de Profundidad	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Grupos Homogéneos
	135	214,75	7,16171	3,33491%	X
	120	216,363	7,05741	3,26183%	X
	105	242,32	32,3935	13,3681%	X
	90	313,347	16,871	5,38413%	X
	75	6118,97	1746,6	28,544%	X
	60	19663,5	5159,48	26,2389%	X
	45	21921,9	2176,57	9,92874%	XX
	30	23897,6	3194,44	13,3672%	XX
	15	24186,2	3194,44	13,3672%	X
Sólidos Suspendidos	Nivel	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Grupos Homogéneos
	120	186,333	27,9836	15,018%	X
	105	202,667	42,7444	21,091%	X
	135	211,5	14,5516	6,8802%	X
	90	360,333	25,9053	7,18925%	X
	75	9188,17	2629,56	28,619%	XX
	60	23440,5	18539,6	79,0924%	XX
	15	26829,7	20460,2	76,2596%	X
	45	33101,5	3798,19	11,4744%	X
	30	37130,5	4973,31	4973,31%	X

Tabla 2. Grupos homogéneos formados en cada parámetro e identificados por colores

Parámetro	Grupo								
	135	120	105	90	75	60	45	30	15
ST									
SV									
SS									
DQO									
SD									
K									
NH3									
SO4									
pH									
°T									
Contenido de agua									

En la tabla D (Anexo 1) se detallan los niveles de profundidad que conforman los grupos homogéneos en los parámetros analizados estadísticamente. La prueba de Rangos Múltiples indicaron 4, 5, 4, 3, 6, 1, 3, 5, 2, 4 y 4 grupos homogéneos en los parámetros sólidos totales, DQO; sólidos volátiles, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, conductividad, nitrógeno amoniacal, sulfatos, pH, temperatura y contenido de agua. Tomando como ejemplo a los sólidos totales, este parámetro conserva más de un grupo homogéneo lo cual significa que su contenido se mantiene constante en aquellos niveles de profundidad que conforman un grupo en común.

Los parámetros: contenido de agua, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos y demanda química de oxígeno permiten ver que el colector se divide en 4 secciones: 135-90cm Grupo 1; 75-60cm Grupo 2; 60-45cm Grupo 3 y 45-15cm Grupo 4. En los sólidos disueltos, sulfatos, pH, temperatura y conductividad, no existe una homogeneidad definida entre estratos.

### 3.3. ANÁLISIS DE GASES

Como se indicó en la metodología, se modificó el proceso de medición de los gases ácido sulfhídrico, metano, propano y butano debido a inconvenientes en la adquisición de los materiales necesarios para realizar el análisis de estos hidrocarburos mediante el analizador de gases TESTO 350 del CESAQ. Inicialmente estos monitoreos se iban a realizar con equipamiento del CESAQ, sin embargo no se pudo adquirir los materiales necesarios para la medición por ende no se desarrolló la validación de la metodología para la medición de gases, por lo que fue necesario, para la medición de ácido sulfhídrico, la contratación del laboratorio acreditado Gruntec y para el análisis de hidrocarburos la toma de muestra en fundas tedlar y posterior transporte a la Universidad Técnica de Cotopaxi donde se midió con un analizador Testo 350 las concentraciones de hidrocarburos en muestras del gas colector.

En la figura 1 (Anexo 2), se encuentran los resultados del monitoreo de gases efectuado en el colector de desechos de camal de Pacto. Se realizó la medición del gas sulfuro de hidrógeno y se detectaron concentraciones de 1.2 ppm. La medición fue realizada con un analizador de gases TESTO 350.

Aunque el sulfuro de hidrógeno es un gas más denso que el aire y puede acumularse en áreas bajas poco ventiladas como producto de la actividad microbiana anaerobia, las concentraciones reportadas fueron mínimas. Cabe recalcar que el colector de desechos contenía varias aberturas que permitían la entrada de aire, además, en base a los análisis de sulfatos que se realizó en las muestras de lodo se puede decir que existe poca disponibilidad de azufre como para que las bacterias sulfato-reductoras liberen grandes cantidades de gas sulfhídrico.

Respecto al análisis de hidrocarburos, los resultados fueron de 0 ppm para metano, propano y butano (figura 2, Anexo 2). Es importante mencionar que previo

al monitoreo, se había realizado una remoción de los lodos residuales contenidos en el colector de desechos y posiblemente fue la principal causa que provocó la pérdida de la mayor parte de gases.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

- Se caracterizaron los gases generados por la comunidad microbiana en el colector de desechos de camal mediante un analizador de gases con celdas electroquímicas obteniendo niveles de concentración de 1ppm para H<sub>2</sub>S y 0ppm para los hidrocarburos siendo cantidades muy bajas o nulas para cuantificar el poder calórico del biogás producido debido al mismo diseño del colector el cual impide que se genere un ambiente hermético que impida la fuga de gas.
- Los resultados obtenidos en el análisis de sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles y DQO mostraron que hasta los 60 cm de altura desde la base del tanque colector de desechos existe un nivel de carga orgánica muy representativo ya que las concentraciones de los parámetros antes indicados fueron de 30395.8; 30083.7; 19663.5 y 22000 mg/L respectivamente.
- El porcentaje de sólidos totales máximo fue del 3 y 4% en los estratos más profundos siendo valores óptimos para el desarrollo de microorganismos anaerobios ya que rangos superiores al 10 %, según la literatura, provocan una reducción de la movilidad de bacterias en la biomasa lo cual disminuye el proceso de biodigestión.
- El alto contenido de sólidos volátiles (SV) resulta ser un indicador de que la biomasa contenida en el colector de desechos se compone en su mayoría de material biodegradable debido a que posee una gran cantidad de lípidos; en base a datos teóricos obtenidos, los lípidos son el substrato mayoritario de los sólidos volátiles los mismos que se relacionan con un alto rendimiento de metano, y debido a las altas concentraciones obtenidas experimentalmente se puede concluir que el

material orgánico contenido en el colector de desechos comprende la materia prima ideal para la producción de biogás.

- Los resultados obtenidos de los sólidos van acompañados con una disminución en la conductividad y los sólidos disueltos generando condiciones favorables para la producción de metano en los estratos más profundos ya que un exceso de salinidad en el entorno provocaría una disminución de la actividad metanogénica.
- El análisis de sulfatos y nitrógeno amoniacal son indicadores de posibles procesos de inhibición de la actividad metanogénica y se determina que en el colector no existen niveles que provoquen una inhibición de la generación de metano por bacterias. Con respecto a ambos parámetros, la disminución del pH registrado en el estrato más profundo está correlacionado con la disminución de los niveles de amonio y sulfatos debido a la presencia de bacterias que provocan la hidrólisis y acidogénesis. Mientras que en los estratos entre 30 y 45 cm desde la base del colector se observa un aumento de pH correlacionado con un aumento en los sulfatos y nitrógeno amoniacal que estaría relacionado con una mayor presencia de bacterias metanogénicas.
- El colector no reúne las condiciones necesarias para la producción de metano debido a que no se alcanza la temperatura óptima para el desarrollo de bacterias metanogénicas, sin embargo proporcionan un ambiente adecuado para las etapas iniciales de la biodigestión (hidrólisis, acidogénesis), además, el exceso de humedad en los lodos del colector (mayor 90%), también es un factor que limita la generación de biogás ya que los niveles adecuados de humedad oscilan entre 40-60% según la literatura.
- Parámetros como DQO, Sólidos totales, volátiles, suspendidos, disueltos, conductividad, sulfatos, nitrógeno amoniacal aportan un ambiente óptimo para el

desarrollo de bacterias anaerobias, sin embargo el pH, la humedad del lodo y la temperatura son parámetros fisicoquímicos que deben mantenerse estables continuamente para que el entorno microbiano no se vea afectado, ya que mediante estos factores muchos procesos son regulados.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda optimizar el sistema de muestreo de lodos utilizados ya que afectó significativamente la variabilidad de los parámetros entre submuestra de un mismo estrato.
- Se recomienda determinar el porcentaje de lípidos, proteínas y carbohidratos que contienen los desechos de camal ya que a partir de este resultado se puede estimar el rendimiento de metano.
- Para optimizar los procesos de biodigestión de desechos es recomendable optimizar el ingreso de los residuos con niveles de humedad no mayores al 60%. Adicionalmente, es recomendable analizar los parámetros carbono orgánico total (COT) y nitrógeno total para caracterizar más adecuadamente los procesos de biodigestión; así como el porcentaje de lípidos, carbohidratos y proteínas que contienen los desechos para determinar el potencial bioquímico de metano.
- Se recomienda mantener estable las condiciones de pH y temperatura principalmente, ya que estas dos variables fisicoquímicas controlan procesos bioquímicos que inhiben el desarrollo microbiano.
- El colector de residuos debería ser modificado para evitar la entrada de aire ya que las bacterias anaerobias son altamente sensibles a la presencia de oxígeno

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aboudi, K., Alvarez, C. y Romero, L. (2017). Influence of total solids concentration on the anaerobic co-digestion of sugar beet by-products and livestock manures. *Science of the Total Environment*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.178>

Ahmad, M., Ejaz, O., Ali, A. y Durrani, M. (2014). Anaerobic digestion of waste from a slaughterhouse. *Environmental Chemical Engineering*. Recuperado de: [10.1016/j.jece.2014.04.001](http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2014.04.001)

Anaerobic Bioreactors. *BioMed Research International*. Recuperado de: [dx.doi.org/10.1155/2014/841573](http://dx.doi.org/10.1155/2014/841573)

Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J. y Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Journal of Energy and Combustion Science*. Recuperado de: [doi:10.1016/j.pecs.2008.06.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002)

Arellano, L., Dorado, D y Fortuny, M. (2017). Purificación y usos del biogas. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=K1loDwAAQBAJ&pg=PA5&dq=Arellano,+Dorado+y+Fortuny,+2017&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Arellano%2C%20Dorado%20y%20Fortuny%2C%202017&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=K1loDwAAQBAJ&pg=PA5&dq=Arellano,+Dorado+y+Fortuny,+2017&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Arellano%2C%20Dorado%20y%20Fortuny%2C%202017&f=false)

Bond, T., Templeton, M. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Journal of Energy for Sustainable Development*, 15, 347–354. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>



Borja, R., Rincón, B. (2017). Biogas Production. *Comprehensive Biotechnology*, 2, 785-798. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.09105-6>

Braguglia, C., Gallipoli, A., Gianico, A., y Pagliaccia, P. (2017). Anaerobic bioconversion of food waste into energy: A critical review. *Bioresource Technology*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.145>

Carrasco, F., Beccari, M. y Majone, M. (2008). Digestión anaerobia termófila de fangos a escala industrial: Efecto de la co-digestión con residuos agroalimentarios. Universidad de Girona, Italia.

Carzola, E. (2013). Optimización del proceso de combustión en el área de clinkerización mediante la utilización de un analizador de gases en la empresa Cemento Chimborazo C.A. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba.

Castro, M. (2011). Manual para el manejo adecuado de los residuos sólidos generados por el camal municipal de Riobamba. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Castro, M. y Vinuesa, M. (2011). Manual para el manejo adecuado de los residuos sólidos generados por el camal municipal de Riobamba (Disertación de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Chandel, A. y Sukumaran, R. (2017). Sustainable Biofuels Development in India. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=rbpZDgAAQBAJ&pg=PA93&dq=Properties+and+characteristics+of+biogas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiMo7XbxIzWAhWE5>

CYKHc7UDmAQ6AEILTAB#v=onepage&q=Properties%20and%20characteristics%20of%20biogas&f=false

Christensen, T. (2011). Solid Waste Technology & Management. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=4gx-bMOhpxEC&pg=PT104&dq=COD/VS+ratio&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiGiOeu\\_JPYAhXDKCYKHceTAFgQ6AEIXDAI#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=4gx-bMOhpxEC&pg=PT104&dq=COD/VS+ratio&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiGiOeu_JPYAhXDKCYKHceTAFgQ6AEIXDAI#v=onepage&q&f=false)

Da Costa, C. (2013). Biogas as an energy option: an overview. *The biogas handbook*. Recuperado de: [doi.org/10.1533/9780857097415.1](https://doi.org/10.1533/9780857097415.1)

Dai, X., Hu, Ch., Zhang, D., Dai, L. y Duan, N. (2017). Impact of a high ammonia-ammonium-pH system on methane-producing archaea and sulfate-reducing bacteria in mesophilic anaerobic digestion. *Journal of Bioresource Technology*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.208>

Del Hierro-Calvachi A. (2016). *Solid Waste management in Ecuador: current practices and future challenge of anaerobic bioconversion of organic waste for agricultural purposes*. (Tesis de maestría). The University of Melbourne, Victoria, Australia.

Días, D. y Campos, J. (1996). Efecto del N-amoniacal en la actividad metanogénica específica durante la degradación de glucosa. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01239e04.pdf>

Espinosa, B., Celis, B., Ramirez, F. y Monroy, O. (2007). Efecto del sulfato en la degradación anaerobia en un reactor UASB. Recuperado de: <https://www.google.com.ec/search?q=Efecto+del+sulfato+en+la+degradaci%C3%B3n+anaerobia+en+un+reactor+UASB&oq=Efecto+del+sulfato+en+la+degradaci>

%C3%B3n+anaerobia+en+un+reactor+UASB&aqs=chrome..69i57.24676j0j8&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Fernández, J., Gutiérrez, M., y Del Río, P. (2015). Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=k9ISCgAAQBAJ&pg=PA319&dq=composicion+de+la+biomasa+para+la+produccion+de+biogas&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=composicion%20de%20la%20biomasa%20para%20la%20produccion%20de%20biogas&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=k9ISCgAAQBAJ&pg=PA319&dq=composicion+de+la+biomasa+para+la+produccion+de+biogas&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=composicion%20de%20la%20biomasa%20para%20la%20produccion%20de%20biogas&f=false)

García, C. (nd). Estudio del Comportamiento del Tratamiento Anaerobio de Fangos ante Modificaciones del pH. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/50162/PFC%20-%20Garc%C3%ADa-Caro%20Andreu%2C%20L..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García, M<sup>a</sup>., Cáceres, P. (2014). Diseños experimentales de series temporales. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=TsLOAgAAQBAJ&pg=PA139&dq=an%C3%A1lisis+de+varianza+ANOVA+de+un+factor&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwizkYv0vq\\_XAhWLLSYKH03Ao8Q6AEIRDAG#v=onepage&q=an%C3%A1lisis%20de%20varianza%20ANOVA%20de%20un%20factor&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=TsLOAgAAQBAJ&pg=PA139&dq=an%C3%A1lisis+de+varianza+ANOVA+de+un+factor&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwizkYv0vq_XAhWLLSYKH03Ao8Q6AEIRDAG#v=onepage&q=an%C3%A1lisis%20de%20varianza%20ANOVA%20de%20un%20factor&f=false)

Garfí, M., Martí-Herrero, J., y Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60, 599–614. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.071>

Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2008). Análisis y diseños de experimentos. 2<sup>da</sup> edición. México: McGrawHill.

Gutiérrez, M. (2014). : Determinación y control de olores en la gestión de residuos orgánicos. (Tesis Doctoral). Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

Hagos, K., Zong, J., Li, D., Liu, Ch. y Lu, X. (2017). Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.184>

Harris, P., y McCabe, B. (2015). Review of pre-treatments used in anaerobic digestion and their potential application in high-fat cattle slaughterhouse wastewater. *Journal of Applied Energy*, 155, 560-575. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.06.026>

Hodge, B. (2017). Alternative Energy Systems and applications. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=IBwjDgAAQBAJ&pg=PA264&dq=hodge,+biogas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9udra8KrWAhUCSCYKHWRwC64Q6AEIJTAA#v=onepage&q=hodge%2C%20biogas&f=false>

[https://books.google.com.ec/books?id=fl\\_SDAAAQBAJ&pg=PA145&dq=volatile+solids+composition+in+organic+waste&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=volatile%20solids%20composition%20in%20organic%20waste&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=fl_SDAAAQBAJ&pg=PA145&dq=volatile+solids+composition+in+organic+waste&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=volatile%20solids%20composition%20in%20organic%20waste&f=false)

Jha, P., y Schmidt, S. (2016). Reappraisal of chemical interference in anaerobic digestion processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.076>

Kadam, R. y Panwar, N. (2017). Recent advancement in biogas enrichment and its applications. *Renewable and Sustainable Energy Review*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.167>

Karthikeyan, O., Heimann, K. y Muthu, S. (2016). Recycling of Solid Waste for Biofuels and Bio-chemicals. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=fl\\_SDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Recycling+of+Solid+Waste+for+Biofuels+and+Bio-chemicals&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi-oObCo4rYAhUTxCYKHYuaA44Q6AEIKDAA#v=onepage&q=Recycling%20of%20Solid%20Waste%20for%20Biofuels%20and%20Bio-chemicals&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=fl_SDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Recycling+of+Solid+Waste+for+Biofuels+and+Bio-chemicals&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi-oObCo4rYAhUTxCYKHYuaA44Q6AEIKDAA#v=onepage&q=Recycling%20of%20Solid%20Waste%20for%20Biofuels%20and%20Bio-chemicals&f=false)

Kwietniewska, E. y Tys, J. (2014). Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.041>

Li, N., Xue, Y., Chen, S., Takahashi, T., Dai, L y Dai, X. (2017). Methanogenic population dynamics regulated by bacterial community responses to protein-rich organic wastes in a high solid anaerobic digester. *Chemical Engineering Journal*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.02.098>

Liu, Ch., Wang, J., Ji, X., Qian, H., Huang, L y Lu, X. (2015). The Biomethane producing potential in China: A theoretical and practical estimation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjche.2015.12.025>

Mao, Ch., Feng, Y., Wang, X., y Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540–555. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>

Martí, N. (2006). Phosphorous Precipitation in Anaerobic Digestion Process. Recuperado de:

[https://books.google.com.ec/books?id=ICmzDqGMw6QC&dq=nitr%C3%B3geno+amoniaco&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.ec/books?id=ICmzDqGMw6QC&dq=nitr%C3%B3geno+amoniaco&hl=es&source=gbs_navlinks_s)

Massa, D. (2014). La centralidad rural de la microregión del noroccidente del distrito metropolitano de Quito: modelos de desarrollo, procesos e influencias en las dinámicas sociales y económicas territoriales. Caso parroquia de Gualea. (Tesis para obtener el título de maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, Ecuador.

Mengistu, M., Simane, B., Eshete, G. y Workneh, T. (2015). A review on biogas technology and its contributions to sustainable rural livelihood in Ethiopia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.026>

Molino, A., Nanna F., Ding, Y., Bikson B., y Braccio, G. (2013). Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. *Journal of Fuel*, 103, 1003–1009. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.07.070>

Mudroch, A., Azcue, J. y Mudroch, P. (1996). Physico-Chemical Analysis of Aquatic Sediments. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=SfZYFUuD8\\_wC&pg=PA15&dq=water+content+analysis&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=water%20content%20analysis&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=SfZYFUuD8_wC&pg=PA15&dq=water+content+analysis&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=water%20content%20analysis&f=false)

Muñoz, R., Meier, L., Diaz, I., y Jeison, D. (2015). A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading. *Reviews in Environmental Science Biotechnology*. Recuperado de DOI 10.1007/s11157-015-9379-1

Nayono, S. (2010). Anaerobic digestion of organic solid waste for energy production. Recuperado de:

<https://books.google.com.ec/books?id=cYZAAbGI6X0C&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Satoto+Endar+Nayono%22&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiX68WwsMTXAhWBOCYKHQ4ICNwQuwUIKTAA#v=onepage&q&f=false>

Ortiz, V. (2011). Puesta a punto de una metodología para la determinación de la actividad metanogénica específica (ame) de un fango anaerobio mediante el sistema oxitop®. Influencia de las principales variables experimentales. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

Padrino, S. (2015). Digestión anaerobia de residuos de procesos de aprovechamiento de microalgas. Co-digestión con otros residuos. (Tesis de pregrado). Universidad de Laguna, San Cristóbal, España.

Patinvoh, R., Osadolor, O., Chandolias, K., Horváth, LL. y Taherzadeh, M. (2017). Innovative pretreatment strategies for biogas production. *Bioresource Technology*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.083>

Punmia, B. y Jain, A. (1998). Waste Water Engineering. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=VmsvcHoq2cgC&dq=filterable+solids+in+wastewater&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.ec/books?id=VmsvcHoq2cgC&dq=filterable+solids+in+wastewater&hl=es&source=gbs_navlinks_s)

Radojevic, M. y Bashkin, V. (1999). Practical Environmental Analysis. Royal Society of Chemistry, First edition, Cornwall.

Ramos, R., Sepúlveda, R. y Villalobos, F. (2003). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=b8l-xhcHPEYC&pg=PA85&dq=s%C3%B3lidos+totales&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi>

mmMTP\_6rWAhXCUIYKHU-  
ZCDUQ6AEIWDAJ#v=onepage&q=s%C3%B3lidos%20totales&f=false

Revista del Ministerio de Industrias y Productividad. (2012). Centros de faenamiento, su implementación avanza. Recuperado de: [http://www.industrias.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/11/pais\\_productivo2.pdf](http://www.industrias.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/11/pais_productivo2.pdf)

Ruiz, S. (2011). Plan de gestión de residuos del camal del cantón Ante. (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Sanabria, D. (2006). Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

Sans, R. y Rivas, J. (1999). Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=kumplOJs6T0C&pg=PA22&dq=desechos+org%C3%A1nicos-tratamiento+por+incineraci%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjI\\_KvPro\\_WAhXE6yYKHZZID1IQ6AEIJTAA#v=onepage&q=desechos%20org%C3%A1nicos-tratamiento%20por%20incineraci%C3%B3n&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=kumplOJs6T0C&pg=PA22&dq=desechos+org%C3%A1nicos-tratamiento+por+incineraci%C3%B3n&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjI_KvPro_WAhXE6yYKHZZID1IQ6AEIJTAA#v=onepage&q=desechos%20org%C3%A1nicos-tratamiento%20por%20incineraci%C3%B3n&f=false).

Santos, J. (2010). Utilización del paquete de programas estadísticos "STATGRAPHICS" en la resolución de problemas prácticos, aplicación al campo de la geografía e historia.



Saucedo, G. (2007). Degradación y estabilización acelerada de residuos sólidos urbanos (RSU) por tratamientos aerobios y anaerobios. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México.

Stronach, S., Rudd, Th y Lester, J. (2012). Anaerobic Digestion Processes in Industrial Wastewater Treatment. Berlin: Springer Science

Tezel, U., Tandukar, M. y Pavlostathos, SG. (2011). Anaerobic Biotreatment of Municipal Sewage Sludge. Elsevier. *Earth systems and environment sciences*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00329-9>

Visser, A. (1995). The anaerobic treatment of sulfate containing wastewater. Recuperado de: <http://edepot.wur.nl/200073>

Wang, L. (2008). Energy Efficiency and Management in Food Processing Facilities. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=JiqjUeGC-AIC&pg=PA375&dq=cattle+slaughterhouse+treatment+using+incineration&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwibqLOylo\\_WAhUMNSYKHewTAH4Q6AEIJTAA#v=onepage&q=cattle%20slaughterhouse%20treatment%20using%20incineration&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=JiqjUeGC-AIC&pg=PA375&dq=cattle+slaughterhouse+treatment+using+incineration&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwibqLOylo_WAhUMNSYKHewTAH4Q6AEIJTAA#v=onepage&q=cattle%20slaughterhouse%20treatment%20using%20incineration&f=false).

Ware, A., y Power N. (2016). Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland. *Journal of Renewable Energy*, 97, 541-549. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>

Wellinger, A., Murphy, J. y Baxter, D. (2013). The biogas handbook: Science, productions and applications. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?id=NFxEAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=biogas+production&hl=es&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=biogas%20production&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=NFxEAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=biogas+production&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=biogas%20production&f=false)

Yang, Y., Li, N., Wang, W., Xie, Sh y Liu Y. (2017). Vertical profiles of sediment methanogenic potential and communities in two plateau freshwater lakes. *Biogeosciencie*. Recuperado de: doi:10.5194/bg-14-341-2017

Yi, J., Dong, B., Jin, J. y Dai, X. (2014). Effect of Increasing Total Solids Contents on Anaerobic Digestion of Food Waste under Mesophilic Conditions: Performance and Microbial Characteristics Analysis. *Anaerobic Digestion of Food waste Journal*. Recuperado de: 10.1371/journal.pone.0102548

Zhang, Q., Hu, J., y Lee, D.J. (2016). Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates. *Renewable Energy*, Recuperado de: 10.1016/j.renene.2016.02.029

## 6. ANEXOS

### Anexo 1. Resultados del análisis estadístico

Tabla A.- Prueba de rangos múltiples de los parámetros sólidos disueltos y conductividad

Sólidos Disueltos	Nivel de Profundidad	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Grupos Homogéneos
	15	183,667	8,80814	4,79572%	X
	30	227,5	3,1225	1,37253%	X
	45	234,667	7,28583	3,10476%	X
	60	312,167	20,8706	6,68573%	X
	75	318,0	8,7892	2,7639%	X
	90	385,167	0,288675	0,0749481%	X
	135	394,333	9,80221	2,48577%	XX
	120	410,167	12,3929	3,02142%	XX
	105	414,167	2,84312	0,686468%	X
Conductividad	Nivel de Profundidad	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Grupos Homogéneos
	30	2466,67	341,294	13,8362%	X
	45	2570,0	203,598	7,92209%	X
	60	2570,67	194,526	7,56714%	X
	15	2593,33	58,9689	2,27387%	X
	75	2641,0	21,0	0,795153%	X
	90	2694,67	64,8563	2,40684%	X
	120	2696,0	71,0774	2,6364%	X
	105	2697,0	71,8818	2,66525%	X
	135	2711,67	46,0036	1,69651%	X

Tabla B.- Prueba de Rangos Múltiples por nivel de profundidad en los parámetros, DQO, Nitrógeno Amoniacal y Sulfatos.

	Nivel	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Grupos Homogéneos
Demanda Química de Oxígeno	120	216,667	75,0555	34,641%	X
	105	273,333	32,1455	11,7605%	X
	135	330,0	70,0	21,2121%	X
	90	370,0	60,8276	16,4399%	X
	75	6833,33	1258,31	18,4142%	X
	60	22000,0	2000,0	9,09091%	X
	45	24000,0	3000,0	12,5%	X
	30	30666,7	4163,33	13,5761%	X
	15	35333,3	1154,7	3,26802%	X
	Nivel de profundidad	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Grupos Homogéneos
Nitrógeno Amoniacal	90	0,16	0,121655	76,0345%	X
	120	0,176667	0,159478	90,2707%	X
	105	0,25	0,121655	48,6621%	X
	135	0,363333	0,0750555	20,6575%	X
	15	110,0	72,844	66,2218%	X
	75	140,5	6,06218	4,31472%	X
	60	161,5	12,6194	7,81389%	XX
	30	210,0	64,2748	30,607%	X
	45	210,833	93,6514	101,089%	X
	Nivel de profundidad	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de variación	Grupos Homogéneos
Sulfatos	15	18,04	1,32367	7,33741%	X
	75	20,5733	4,99396	24,2739%	XX
	120	20,6433	1,0153	4,91829%	XX
	90	23,8	5,167	21,7101%	XXX
	60	26,6767	8,64324	32,4%	XXX
	105	26,9533	5,59509	20,7584%	XXX
	135	30,7933	3,3542	10,8926%	XX
	45	31,3433	6,90316	22,0243%	XX
	30	34,36	2,34156	6,81478%	X

Tabla C.- Prueba de rangos múltiples de los parámetros pH, Temperatura y contenido de agua.

pH	Nivel de Profundidad	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Grupos Homogéneos
	15	6,94333	0,0665833	0,958953%	X
	60	7,03	0,221133	3,14557%	XX
	105	7,03333	0,153731	2,18575%	XX
	120	7,05333	0,0450925	0,639308%	XX
	75	7,09	0,0655744	0,924886%	XX
	30	7,09333	0,181751	2,56228%	XX
	45	7,17667	0,0814453	1,13486%	XX
	135	7,23	0,165227	2,2853%	X
	90	7,25667	0,15308	2,1095%	X
Temperatura	Nivel de Profundidad	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Grupos Homogéneos
	90	23,0	0	0%	X
	75	23,0333	0,057735	0,250659%	XX
	120	23,2667	0,057735	0,248145%	XX
	15	23,2667	0,11547	0,49629%	XX
	135	23,3	0,173205	0,743369%	X
	60	23,3333	0,251661	1,07855%	X
	45	23,5	0	0%	XX
	30	23,5	0,173205	0,737043%	XX
	105	23,6	0,2	0,847458%	X
Contenido de agua	Nivel de Profundidad	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	Grupos Homogéneos
	15	96,0333	0,585947	0,610149%	X
	30	96,3	0,5	0,519211%	XX
	45	96,6667	0,378594	0,391649%	XX
	60	96,9667	0,763763	0,787655%	X
	75	99,0333	0,251661	0,254118%	X
	105	99,9	0	0%	X
	90	99,9	0	0%	X
	135	99,9	0	0%	X
	120	99,9	0	0%	X



Parámetro	Observación
Conductividad	Se forma un grupo homogéneo, no existen diferencias significativas entre la alturas 15-135 a lo largo del perfil de lodo
Demanda Química de Oxígeno	Se forman 5 grupos homogéneos, no existen diferencias significativas entre las siguientes alturas: Grupo 1: 120, 105, 135, 90      Grupo 2: 75 Grupo 3: 60, 45                      Grupo 4: 30      Grupo 5: 15
Nitrógeno Amoniacal	Se forman 3 grupos homogéneos, no existen diferencias significativas entre las siguientes alturas: Grupo 1: 90, 120, 105, 135    Grupo 2: 15, 75 60    Grupo 3: 60, 30, 45
Sulfatos	Se forman 4 grupos homogéneos y no existen diferencias significativas entre las siguientes alturas: Grupo 1: 15, 75, 120, 90      Grupo 2: 75,120,90,60 Grupo 3: 105                      Grupo 4: 90,60,105, 135, 45 Grupo 5: 60,105,135,45, 30
pH	Se forman 2 grupos homogéneos. No existen diferencias significativas entre las alturas: Grupo 1: 15, 60, 105, 120,75,30, 45 Grupo 2: 60,105,120,75,30,45,135,90

Parámetro	Observación
Temperatura	<p>Se forman 4 grupos homogéneos. No existen diferencias significativas entre las alturas:</p> <p>Grupo 1: 90,75                                  Grupo 2: 75,120</p> <p>Grupo 3: 120,15,135,60,45,30      Grupo 4: 45,30,105</p>
Contenido de agua	<p>Se forman 4 grupos homogéneos y no hay diferencias significativas entre las alturas:</p> <p>Grupo 1: 15,30, 45      Grupo 2: 30,45,60</p> <p>Grupo 3: 75                  Grupo 4: 105,90,135,120</p>



## Anexo 2. Resultados del análisis de gases sulfuro de hidrógeno, metano, propano y butano.

Id. Fuente	Relleno sanitario		
Tipo de Fuente	Relleno sanitario		
Ubicación de la fuente	Pichincha, Cantón Quito Parroquia Pacto		
Nº de Serie	N/A		
Capacidad de la fuente kw	N/A		
Carga de operación kw	N/A		
Fecha de inicio o reinicio de operación	2011		
Horómetro h	n.d		
Tiempo de Operación h/día	24		
Tipo de Combustible	N/A		
Técnicos Responsables	Hugo Castillo		

Parámetro	Resultado	Incertidumbre (U) <sup>(a)</sup>	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Temperatura Chimenea °C <sup>(1)</sup>	28	N/A	EPA CTM 030 / MM-GS-01
Oxígeno %O <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	21	0.04	EPA CTM 030 / MM-GS-01
Gases de Combustión			
Óxidos de Nitrógeno ppm <sup>(3)</sup>	<20	0.1	EPA CTM 030 / MM-GS-01
Sulfuro de Hidrógeno ppm <sup>(4)</sup>	1.2	N/A	EPA CTM 030 / MM-GS-01
Dióxido de Azufre ppm <sup>(5)</sup>	<20	0.1	EPA CTM 030 / MM-GS-01
Monóxido de Carbono ppm <sup>(6)</sup>	<20	1.6	EPA CTM 030 / MM-GS-01

Figura A.- Determinación de sulfuro de hidrógeno medido en el colector de desechos de camal de Pacto con un analizador de gases "TESTO 350"

testo 350 Box #7 V1. 16 60492177/USA	testo 350 Box #7 V1. 16 60492177/USA	testo 350 Box #7 V1. 16 60492177/USA
UTC IMAM MEDICION	UTC IMAM MEDICION	UTC IMAM MEDICION
Protocolo Situación: MUESTRAS TES5 ELENA	Protocolo Situación: MUESTRAS TES5 ELENA	Protocolo Situación: MUESTRAS TES5 ELENA
Combustible: Gas patrón CO2Máx: 0.0 %	Combustible: Gas patrón CO2Máx: 0.0 %	Combustible: Gas patrón CO2Máx: 0.0 %
06.06.2017 13:09:12	06.06.2017 13:12:05	06.06.2017 13:22:20
Duración 00:01:00	Duración 00:01:00	Duración 00:01:00
Programa Flue Gas	Programa Flue Gas	Programa Flue Gas
Promedio Sí Inicio: manual Final: manual Fase limpieza 00:05:00 Fase gas 00:01:00 Intervalo med. 00:01:00	Promedio Sí Inicio: manual Final: manual Fase limpieza 00:05:00 Fase gas 00:01:00 Intervalo med. 00:01:00	Promedio Sí Inicio: manual Final: manual Fase limpieza 00:05:00 Fase gas 00:01:00 Intervalo med. 00:01:00
PdC --- °C Temp. PDC' s 20.87 % O2 --- mg/m <sup>3</sup> CO --- % CO2 --- °C Temp. PDC' s --- mg/m <sup>3</sup> NOx --- mg/m <sup>3</sup> NO --- mg/m <sup>3</sup> NO2 --- mg/m <sup>3</sup> SO2 --- mg/m <sup>3</sup> HC --- °C Temp. PDC' s --- % REN --- % Aire ext. --- % qA 0.87 l/min Caudal bom. 26.0 °C Temp. Amb.	PdC --- °C Temp. PDC' s 20.87 % O2 --- mg/m <sup>3</sup> CO --- % CO2 --- °C Temp. PDC' s --- mg/m <sup>3</sup> NOx --- mg/m <sup>3</sup> NO --- mg/m <sup>3</sup> NO2 --- mg/m <sup>3</sup> SO2 --- mg/m <sup>3</sup> HC --- °C Temp. PDC' s --- % REN --- % Aire ext. --- % qA 0.98 l/min Caudal bom. 26.2 °C Temp. Amb.	PdC --- °C Temp. PDC' s 20.86 % O2 --- mg/m <sup>3</sup> CO --- % CO2 --- °C Temp. PDC' s --- mg/m <sup>3</sup> NOx --- mg/m <sup>3</sup> NO --- mg/m <sup>3</sup> NO2 --- mg/m <sup>3</sup> SO2 --- mg/m <sup>3</sup> HC --- °C Temp. PDC' s --- % REN --- % Aire ext. --- % qA 0.98 l/min Caudal bom. 26.8 °C Temp. Amb.
GN/LD/RJ	GN/LD/RJ	GN/LD/RJ

Figura B.- Determinación de gas metano, propano y butano en muestras gaseosas del colector de desechos de camal de Pacto mediante un analizador de gases "TESTO 350"

testo 350 Box #7 V1.16 60492177/USA	testo 350 Box #7 V1.16 60492177/USA	testo 350 Box #7 V1.16 60492177/USA
UTC IMAM MEDICION	UTC IMAM MEDICION	UTC IMAM MEDICION
Protocolo Situación: MUESTRAS TES5 ELENA	Protocolo Situación: MUESTRAS TES5 ELENA	Protocolo Situación: MUESTRAS TES5 ELENA
Combustible: Gas patrón CO2Máx: 0.0 %	Combustible: Gas patrón CO2Máx: 0.0 %	Combustible: Gas patrón CO2Máx: 0.0 %
06.06.2017 13:24:29	06.06.2017 13:28:24	06.06.2017 13:30:51
Duración 00:01:00	Duración 00:01:00	Duración 00:01:00
Programa Flue Gas	Programa Flue Gas	Programa Flue Gas
Promedio Sí Inicio: manual Final: manual Fase limpieza 00:05:00 Fase gas 00:01:00 Intervalo med. 00:01:00	Promedio Sí Inicio: manual Final: manual Fase limpieza 00:05:00 Fase gas 00:01:00 Intervalo med. 00:01:00	Promedio Sí Inicio: manual Final: manual Fase limpieza 00:05:00 Fase gas 00:01:00 Intervalo med. 00:01:00
PdC --- °C Temp. PDC' s 20.85 % O2 --- mg/m³ CO --- % CO2 --- °C Temp. PDC' s --- mg/m³ NOx --- mg/m³ NO --- mg/m³ NO2 --- mg/m³ SO2 --- mg/m³ HC --- °C Temp. PDC' s --- % REN --- % Aire ext. --- % qA 0.98 l/min Caudal bom. 26.9 °C Temp. Amb.	PdC --- °C Temp. PDC' s 20.86 % O2 --- mg/m³ CO --- % CO2 --- °C Temp. PDC' s --- mg/m³ NOx --- mg/m³ NO --- mg/m³ NO2 --- mg/m³ SO2 --- mg/m³ HC --- °C Temp. PDC' s --- % REN --- % Aire ext. --- % qA 0.98 l/min Caudal bom. 27.0 °C Temp. Amb.	PdC --- °C Temp. PDC' s 20.86 % O2 --- mg/m³ CO --- % CO2 --- °C Temp. PDC' s --- mg/m³ NOx --- mg/m³ NO --- mg/m³ NO2 --- mg/m³ SO2 --- mg/m³ HC --- °C Temp. PDC' s --- % REN --- % Aire ext. --- % qA 0.98 l/min Caudal bom. 27.1 °C Temp. Amb.
GN/LD/RJ	GN/LD/RJ	GN/LD/RJ

Figura C.- Determinación de gas metano, propano y butano en muestras gaseosas del colector de desechos de camal de Pacto mediante un analizador de gases "TESTO 350"

### Anexo 3. Evidencias del análisis de muestras en el laboratorio



Figure A1.- Análisis de sólidos totales



Figure A2.- Análisis de sólidos suspendidos





Figure A3.- Análisis de sólidos disueltos



Figure A4.- Análisis de la demanda química de oxígeno



Figure A5.- Análisis de nitrógeno amoniacal



Figure A6.- Análisis de sulfatos

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Elena Virginia López Nata, con CC. 1717758211, autora del trabajo de graduación titulado: “Caracterización de variables fisicoquímicas en lodos y emisiones gaseosas de un colector de desechos de camal en la comunidad de Pacto”, previa la obtención del grado académico de **LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA ANALÍTICA** en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 20 de Diciembre del 2017

f) Elena Virginia López Nata

CC # 1717758211